الأستاذ الدكتور

السعيد عاشور

أستاذ الهندسة الصناعية والإدارية وبحوث العمليات
عميد كلية الهندسة الأسبق
جامعة المنصورة

إدارة المنظومات الإنتاجية

تخطيط • تنظيم • تحليل • تحكم

دار الشروق

إدارة
المنظومات الإنتاجية

الطبعة الأولى
١٤٢١هـ - ٢٠٠٠م

القاهرة : ٨ شارع سيبويه المصرى -
رابعة العدوية - مدينة نصر
ص . ب : ٣٣ البانوراما - تليفون : ٤٠٢٣٣٩٩
فاكس : ٤٠٣٧٥٦٧ (٢٠٢)
البريد الإلكتروني: email: dar@shorouk.com

MANAGEMENT
of
PRODUCTION SYSTEMS

Planning • Organization • Analysis • Control

SAID ASHOUR
Prof. of Industrial & Management Engineering
and Operations Research
Ex-Dean, Faculty of Engineering
Mansoura Univerity

© دار الشروق
أسسها محمد المعلم عام ١٩٦٨

الإهـــداء

إلـــى

أبنائى الطلاب الذين يدرسون فى الجامعات العربية من شباب هذا الجيل، ويتطلعون إلى التسلح بالعلم والتزود بالمعرفة، ويحاولون اللحاق بالمجتمعات المعاصرة التى تتميز بالأنشطة الديناميكية، وتزايد الاكتشافات العلمية، وانتشار الابتكارات التكنولوجية، واستخدام المنظومات العلمية، فهم عماد مستقبل هذه الأمة العريقة.

إلـــى

زملائى الأكاديميين الذين يعيشون فى عالم أصبحت السيادة فيه لمن يملك المعلومة، ويتطلعون إلى زيادة الإنفاق على البحث العلمى والإنماء التكنولوجى، ويتخصصون فى دراسة وتحليل المنظومات، مستخدمين تكنولوجيا الحاسبات والاتصالات والمعلومات فى تطوير منهجية الإدارة العلمية ووسائل تدعيم القرار.

إلـــى

زملائى المهنيين الذين يمارسون نشاطاتهم فى الهندسة الصناعية والإدارية، وهندسة الإنتاج، وبحوث العمليات، وإدارة الأعمال، وإدارة الاستثمار، وعلمية الإدارة، على مستوى الإدارة العليا والمتوسطة.

إلـــى

هؤلاء جميعًا، أهدى هذا الكتاب الذى يُعَدّ نافذة مضيئة لهم على منابع الفكر ومنافذ المعرفة. فالكتاب ــ بنظرياته وبدهياته ومسلماته ــ يساعد الأكاديميين على نقل المعلومة لطلابهم بسهولة ويسر، ويُسهل للمهنيين اتخاذ القرارات الرشيدة فى أسرع وقت، ويُعوِّد الطلاب على أساليب التفكير الثاقب فى مختلف الأنشطة من خلال تصميم وإدارة المنظومات الواقعية. كما أنه يهدى الشباب إلى الوسائل الملائمة لتحليل ومعالجة المشكلات الخاصة والعامة، ويعينهم على اتخاذ القرارات الصائبة خلال حياتهم اليومية والمستقبلية.

والله ولى التوفيق...

السعيد عاشـــور

القاهرة فى 08 . 06 . 2000

المقدمة

أحمد الله تبارك وتعالى، ولى الأمر والتدبير، وإليه المرجع والمصير، الذى كتب على نفسه البقاء وعلى خلقه الفناء، وأصلى وأسلم على خير الخلق وخاتم الأنبياء محمد ابن عبد الله، وعلى آله وصحبه أجمعين.

أما بعد، فالعالم يمر بتحولات هائلة لم يسبق لها مثيل فى تاريخنا المعاصر، نتيجة الثورة العلمية المبهرة، والطفرة التكنولوجية المذهلة فى تصميم وإدارة منظومات التشغيل، وهى المنظومات الإنتاجية التى يتم فيها تحويل المقومات من خامات ومعدات وأفراد وتقنيات وطاقات ومعلومات ذات قيم معينة، إلى نواتج من سلع وخدمات ذات قيم مضافة.

وقد تطور مفهوم هذه المنظومات فى مجال تخطيط احتياجات الإنتاج، وتنظيم مقومات الإنتاج، وتحليل مساعدات الإنتاج، وتحكم عمليات الإنتاج، وذلك بعد التطور المذهل والتقدم المبهر فى تكنولوجيا الحاسبات والاتصالات والمعلومات التى أدّت دوراً بارزاً فى عمليات تحويل المدخلات إلى مخرجات؛ فتعمقت المفاهيم التكنولوجية، وأصبحت تساير التطورات البحثية، وتتفق مع المنهجية العلمية.

وتُعَدّ الثورة المعلوماتية محور التقدم الشامل فى أى دولة من الدول، فأصبحت تتسم بقدرات عالية على الفهم الكامل لتشخيص النشاطات الواقعية، وصياغة المنظومات العلمية، وتشكيل النماذج الرياضية التى تُولِّد البدائل الممكنة، والتى تدعم صانع القرار فى اختيار البديل الأمثل أو الأنسب.

والكتاب فى محتواه يركز على أسس ومحاور نذكرها باختصار حتى يسهل استيعاب منهجية ونمذجة المنظومات، وهى على النحو التالى:

* الكون ما هو إلا مجموعة من النشاطات التى خلقها الله تعالى لخدمة الإنسان خلال حياته الدنيوية.

* الكون يمكن عَدُّه منظومة إنتاجية متكاملة تضم منظومات فرعية، كل منها يمثل نشاطًا معينًا.

* النشاط ما هو إلا منظومة فرعية ذات عناصر أو مكونات تتفاعل بعضها مع بعض، لتنتج مخرجات ذات قيم مادية ومعنوية، لفائدة الفرد والمجتمع.

* النشاط يمكن صياغته فى منظومة إنتاجية، تكون مدخلاتها فى صورة مقومات يجرى عليها عمليات تحويلية، ومخرجاتها فى صورة نواتج كسلعة مصنَّعة، أو كخدمة مُقدَّمة.

* المنظومة ما هى إلا كيان يضم مجموعة من العناصر أو المكونات التى تتفاعل بعضها مع بعض فى تصميمات أو تنظيمات معينة، بغية الوصول إلى أهداف محدَّدة.

* المنظومة يمكن تحديد كنهها من خلال مدخلاتها التى هى عبارة عن المقومات التى تُستغل فى إخراج ناتج معين، وتحويلاتها التى هى عبارة عن عمليات تحويل هذه المدخلات إلى نواتج معينة، ومخرجاتها التى هى عبارة عن سلع منتجة استجابة لرغبات وأذواق المستهلكين، أو خدمات مقدمة استجابة لاحتياجات ومتطلبات المستفيدين.

والمنظومات الإنتاجية يمكن تصنيفها إلى منظومة تصنيعية أو منظومة خدمية. فالمنظومة التصنيعية هى التى تقوم بتصنيع مقومات إنتاجية من مواد ومعدات وعمالة وغيرها، إلى نواتج مصنَّعة من سيارات وثلاجات وملابس أو غيرها. أما المنظومة الخدمية فهى التى تقوم بتحويل مقومات إنتاجية من مواد وأجهزة وعمالة مهنية وفنية وغيرها، إلى خدمات مقدمة للمواطنين من علاج مريض فى مستشفى، أو تعليم طالب فى مدرسة، أو خدمة مودع فى بنك، أو غيرها.

وعلم دراسة وتحليل النظم يهدف إلى تصميم منظومة إنتاجية حديثة لأداء نشاط مستقبلى معين، بمستوى أداء محدد، ونواتج بأهداف متوقعة؛ أو تحسين أداء نشاط قائم للحصول على نواتج مطلوبة بكفاءة أعلى، وجودة أفضل، وتكلفة أقل؛ أو معالجة مشكلة معينة حدثت فى نشاط قائم لتحقيق هدف معين.

وقد صدر لى كتاب «ثورة الإدارة العلمية والمعلوماتية» من دار الشروق العريقة، وهو يتضمن فلسفتى فى إدارة المنظومات العلمية، وتُعَدّ هذه الفلسفة هى المدخل الطبيعى لدراسة وتحليل النظم.

فهذا الكتاب ــ وهو حديث فى اتجاهاته الفكرية وأساليبه العلمية ــ يوضح سمة المنظومات العلمية من خلال الدراسة التحليلية، مبينًا أهمية المعلوماتية فى إحداث ثورة فكرية فى تصميم وإدارة منظومات التشغيل، كما يقدم بانوراما لمجموعة النشاطات الواقعية التى قمت بصياغتها في منظومات علمية، وتمثيلها بنماذج رياضية، بهدف معالجة مشكلاتها، ثم يستعرض المنظومات العلمية فى جزأين رئيسيين على النحو التالى:

الجزء الأول. يقدم منهجية المنظومات العلمية، مستعرضًا أسلوب معالجة مشكلات التشغيل من تشخيص المشكلة الواقعية، وتشكيل المنظومة العلمية، وتمثيل النموذج الرياضى، موضحًا ذلك بمثال حى عن مصعد برج القاهرة؛ وكذا أسلوب إدارة منظومات التشغيل من تحديد نشاطات المنظومة، وتشغيل عمليات المنظومة، وتدعيم قرارات المنظومة، متضمنًا أمثلة حيَّة منطقية تساعد على تفهم فلسفتى التى كونتها فى هذا المضمار خلال خبرتى وأبحاثى فى المجال الصناعى والأكاديمى والاستشارى.

الجزء الثانى. يقدم نمذجة المنظومات العلمية، مستعرضًا نماذج رياضية تُمثِّل منظومات علمية لنشاطات واقعية تظهر عادة فى مؤسسات إنتاجية، حيث قدمت 27 نموذجًا رياضيًا منها: 9 نماذج فى تخطيط احتياجات الإنتاج + 6 نماذج فى تنظيم مقومات الإنتاج + 6 نماذج فى تحليل مساعدات الإنتاج + 6 نماذج فى تحكم عمليات الإنتاج. وقد تجنبت ــ عند تقديم هذه النماذج الرياضية ــ التفاصيل المملة، والبراهين الرياضية المعقَّدة، حتى يستطيع القارئ تفهم المادة العلمية المقدمة، واستيعاب الموضوعات العملية الموضحة، وصياغة الأفكار البدهية الموجَّهة.

وقد آثرت عنونة الكتاب باسم «إدارة المنظومات الإنتاجية: تخطيط • تنظيم • تحليل • تحكم»، لأن المنظومات الإنتاجية عامة تُمثِّل مختلف النشاطات سواء كانت تصنيعية أو خدمية. واستخدمت لفظ «المنظومات» بدلاً من «النظم»، لأنها تعطى الترجمة الملائمة لكلمة (Systems)، كما تجنبت تسمية الكتاب بعنوان هندسة النظم (Systems Engineering)، خوفًا من إحجام قطاع كبير من الطلبة ذوى التخصصات غير الهندسية عن قراءته. لذلك فإنه يمكن تدريس محتوى هذا الكتاب أو بعض منه بالجامعات والمعاهد، ضمن مقررات دراسية فى السنوات النهائية لدرجات البكالوريوس، والسنوات التمهيدية للدراسات العليا مثل تحليل النظم، وهندسة النظم، وعلمية الإدارة، وبحوث العمليات، وإدارة المشروعات، ونظم دعم القرار، ونظم المعلومات، وتحليل النظم الإنتاجية فى كليات الهندسة، وكليات التجارة، وكليات الحاسبات والمعلومات، والمعاهد

المماثلة . ويكفى لتفهم الأساليب الكمية فى حل النماذج الرياضية، التزود بمبادئ الرياضيات والاحتمالات والإحصاءات فقط .

وقد راعيت فى تأليف هذا الكتاب الإعداد المنطقى والكتابة المقروءة، وتوخيت القصد الميسر والأسلوب المبسط، وتجنبت الإيجاز المخل والتفصيل الممل، لكى يصبح المحتوى سهل الاستيعاب وسريع الفهم دون الإخلال بالمضمون. كما دعّمت الأفكار والمفاهيم المطروحة بأمثلة توضيحية، وذيّلت أبواب الجزء الثانى بحوالى ثمانين تمرينًا تطبيقيًا للتنويع والاستزادة. وإنى آمل من الله تعالى أن أكون قد أحسنت تقديمه، وأن يغفر لى إن لم أكن قد أحسنت تصويره.

وفى هذا الصدد لا يسعنى إلا أن أشكر كل من هيأ لى الفرصة لأن أجمع أوراقى البحثية، ومذكراتى العلمية، التى سجلت فيها منهجى وفلسفتى الشخصية، وآرائى وأفكارى الذاتية فى هندسة الإدارة، وعلمية الإدارة، ونمذجة الإدارة.كما أود أن أشكر كل من قدم لى العون فى إخراج هذا الكتاب، والله ولى التوفيق.

الأستاذ الدكتور

السعيد عاشور

القاهرة فى 08 . 06 . 2000

الفهرس

الجداول

الأشكـــال

التمارين

تمارين تحليل المنظومات: 277

تمارين تحكم المنظومات: 319

الباب الأول
سمة المنظومات العلمية

الفصل الأول: دراسة منظومات التشغيل

الفصل الثاني: تحليل منظومات التشغيل

الباب الأول
سمة المنظومات العلمية

المنظومات تكاد تكون السمة المميزة لجميع النشاطات التى خلقها الله تعالى لخدمة الإنسان. فأى نشاط يتمثل فى تحويل المدخلات من مقومات ذات قيم معينة إلى مخرجات من نواتج ذات قيم مضافة عن طريق بعض العمليات التحويلية. والكون الذى يجمع هذه النشاطات ما هو إلا منظومة متكاملة تضم منظومات فرعية كل منها يمثل نشاطًا معينًا. والمنظومة عبارة عن كيان يضم مجموعة من المكونات أو العناصر التى تتفاعل بعضها مع بعض فى تصميمات أو تشكيلات أو تنظيمات معينة، لتنفيذ برامج مخططة مسبَّقًا، بغية الوصول إلى أهداف محدَّدة. وبتغير هذه التصميمات فى المنظومة، تتنوع المخرجات.

والمنظومات العلمية يتحدد كنهها من خلال التعرف على مدخلاتها وتحويلاتها ومخرجاتها. فالمدخلات تمثل المقومات التى تحتوى على المواد الأولية، والمعدات الإنتاجية، والقوى العاملة، والتى يجرى عليها عمليات تحويلية بأساليب معينة. والتحويلات تمثل العمليات التى تستخدم فى تحويل هذه المقومات إلى نواتج ذات قيم مضافة. والمخرجات تُمثِّل النواتج التى تتباين نتيجة إجراء عمليات تحويلية للمقومات حسب خطط موضوعة مُسبَقًا للوصول إلى أهداف معينة. وتشمل النواتج فى هذه المنظومات على منتجات نهائية من سلع مُعدَّة للتوزيع فى الأسواق استجابة لرغبات وأذواق المستهلكين، أو خدمات تقدم للجمهور لقضاء الحاجات والمتطلبات.

وقد واجهت المنظومات الإنتاجية فى كل من الدول النامية والدول المتقدمة صعوبات جمَّة، نتيجة لعوامل كثيرة. ففى الدول النامية، واجهت المنظومات الإنتاجية تحديات كبيرة فى عدم الالتزام بمعايير المواصفات القياسية للمنتجات، والتهاون فى معايير الجودة النهائية للمشغولات، والجهل بوسائل التكنولوجيا الحديثة للتشغيل. وقد نتج عن ذلك عدَّة ظواهر منها: (1) ضمور فى البيئة الإنتاجية، مما أدى إلى اقتصار الصناعات التحويلية

على تجميع المكونات، دون التعمق فى عمليات التشغيل والتشكيل؛ (2) ضعف فى القدرات الابتكارية، مما أدى إلى محدودية التغيير والتجديد فى تطوير منظومات التشغيل؛ (3) قصور فى الإدارة العلمية، مما أدى إلى نقص فى المعرفة بالوظائف الرئيسية والمهام الفرعية لمنظومات التشغيل فى مراحل التصميم والتصنيع والتنظيم. لذلك تواجه المنظومات الإنتاجية المحلية تحديات كبيرة، نظرًا لعزوف المستهلك عن المنتجات الوطنية، وضعف القدرات التنافسية للمنتجات.

أما فى الدول المتقدمة، فقد واجهت المنظومات الإنتاجية تحديات متنوعة فى مدى الوفاء بالاحتياجات كمّا وكيفًا، إذ خلقت الحروب عامة توقفًا فى التبادل التجارى بين مختلف الدول، مما اضطر المواطنون إلى الاعتماد على أنفسهم فى تصنيع احتياجاتهم محليّا. كما خلقت الحرب العالمية الثانية بالذات ثورة صناعية، أدت إلى تحوُّل كبير فى مفهوم عمليات التصنيع (أى عمليات تحويل المدخلات إلى مخرجات)، ودخول الولايات المتحدة الأمريكية الحرب، مما اضطرها إلى التوسع فى الإنتاج الكمِّى لتغطية احتياجات جيوش الحلفاء.

وأدّت الأساليب الحديثة للتقنية الفنية فى تشغيل المنظومات الإنتاجية ــ سواء كانت منظومات تصنيعية أو خدمية ــ دورًا مهمّا فى جميع مراحل التصميم والتصنيع والتنظيم. فقد استحدثت تقنيات إلكترونية جديدة فى عمليات الإنتاج مثل منظومات التصنيع المرن (Flexible Manufacturing Systems) فى عمليات التصنيع المتباينة، ومنظومات الروبوت الآلية (Robots) فى عمليات الإنتاج المتكرر طبقًا لأوامر مبرمجة؛ ومنظومات الخطوط الإنتاجية المزودة بدوائر إلكترونية (Electronic Assembly Lines) فى عمليات الإنتاج الكمى؛ ومنظومات المعدات التصنيعية المزودة بوحدات تحكم (Logic Units) فى عمليات الإنتاج النمطى؛ وغيرها من هذه التقنيات الحديثة.

كما أدّت الوسائل العلمية للتقنية الإدارية فى تشغيل المنظومات الإنتاجية ــ سواء كانت تصنيعية أو خدمية ــ دورًا بارزًا فى مختلف الوظائف الرئيسية والمهام الفرعية للمنظومات. فقد استحدثت تقنيات إدارية جديدة فى تنظيم وإدارة منظومات الإنتاج، مثل تحليل المنظومات (Systems Analysis)، وتحليل الاقتصاديات (Economic Analysis)، وأسلوب المحاكاة (Simulation Approach)، وبحوث العمليات (Operations Research)، وعلمية الإدارة (Scientific Management)، وغيرها من هذه التقنيات الحديثة. وقد تفرغ كثير من العلماء والباحثين

لدراسة المنظومات الإنتاجية، فخضعت منظومات التشغيل إلى الفحص العلمى والتحليل الكمى، واستخدام المنهج العلمى لفهم ظواهر التغيير بهدف التنبؤ بسلوك منظومات التشغيل، وتحسين الأداء، ورفع الكفاءة.

ويقدم هذا الباب فلسفة المؤلف فى دراسة وتحليل المنظومات، على أساس أن الكون ما هو إلا منظومة متكاملة تضم عدداً هائلاً من النشاطات التى يمكن تمثيل كل منها بمنظومة فرعية أو جزئية؛ والمنظومة عادة ما هى إلا كيان يتكون من مدخلات ذات مقومات يجرى عليها عمليات تحويلية لتنتج مخرجات فى صورة سلع أو خدمات.

الفصل الأول: دراسة منظومات التشغيل

الكون الذى حثَّ الله تعالى عباده على النظر والتأمل في ظواهره الكونية، والدراسة والبحث فى حقائقه العلمية، ما هو إلا منظومة متكاملة، والذّرة هى أساس هذه المنظومة، إذ هى وحدة البناء فى جميع المخلوقات من مجرات وكواكب وأقمار وشهب ومذنبات وأجرام وكائنات وعوالم وأجناس وغيرها من مخلوقات الله تعالى. وبصَوْغ بلايين البلايين من هذه الذرات فى عدة تصميمات وتنظيمات، تتشكل العوالم من كائنات وأجناس، ابتداء بالميكروب وحيد الخلية، وانتهاء بالكون الذى لا تحدّه حدود.

وبالنظر إلى الكون كمنظومة متكاملة، يتبين احتواء هذا العالم على عوالم جزئية يُعَدّ كل منها منظومة فرعية داخل المنظومة المتكاملة: ففيه عالم الجماد، وعالم النبات، وعالم الحيوان، وعالم الإنسان، وغير ذلك من مختلف صنوف الموجودات التى تكون كل منها عالمًا صغيرًا، ويتكون من مجموعها العالم الكبير.

ففى عالم الجماد كمنظومة فرعية، نجد عجائب الخلق متجلية بشكل واضح، وعلى نظام ثابت، ولها مقوماتها ومدخلاتها ونشاطاتها التى تتحول بأساليب معقدة إلى نواتج أو مخرجات ذات قيم محسوسة. فكل كوكب يسير فى مدار معين لا يتعداه، وتنتظم دوراته فى فترات معينة، ويختص بوظيفة محدَّدة يؤديها، ويحفظ المسافات بينها من جهة، ثم بين مداراتها من جهة أخرى. فسبحان الله تعالى الذى أبدع هذه المنظومة، وأتقن دقة صنعها، وأحكم تحديد هدفها.

وفى عالم النبات كمنظومة فرعية، نجد أن عجائب الخلق متجلية بشكل واضح، وعلى نظام ثابت، ولها مقوماتها ومدخلاتها ونشاطاتها التى تتحول بأساليب معقدة إلى نواتج أو مخرجات ذات قيم محسوسة. فالبذرة المركوزة فى التراب تبدو جامدة ليس فيها مبعث لحركة، ولكن عندما يحتضنها الطين، ويسقيها الماء، ويغمرها الهواء، تصبح مهيأة لإبراز ما فيها من كوامن الخلق، وما تركَّز فيها من مظاهر الحياة، فتصير شجرة باسقة، وتزهر وتثمر، وتورق وتخضر. فسبحان الله تعالى الذى أبدع هذه المنظومة، وأتقن دقة صنعها، وأحكم تحديد هدفها.

وفى عالم الحيوان كمنظومة فرعية، نجد أن عجائب الخلق متجلية بشكل واضح، وعلى نظام ثابت، ولها مقوماتها ومدخلاتها ونشاطاتها التى تتحول بأساليب معقدة إلى نواتج أو مخرجات ذات قيم محسوسة. فسلالات الدواب تشمل أعدادًا هائلة، وأنواعًا متباينة، فمنها سلالة الزواحف التى تمشى على بطنها، وسلالة الطيور التى تمشى على اثنين، وسلالة الثدييات التى تمشى على أربع. كما تتميز فصائل الحيوان من جهة الشكل والخواص والطباع والغرائز: فمنها مملكة النحل التى لا يجرؤ على دخولها أحد دون أن يأخذ حذره من دفاعها القوى وهجومها المؤلم؛ ودويلة النمل التى تتصف بالمثابرة على أداء العمل والتفانى فى أداء الواجب؛ وأمة العناكب ذات الخلايا العصبية التى تسمح بتكوين نسيج مخطط فى برامج هندسية منتظمة؛ وجماعات الطيور التى يقوم بعضها بتخطيط برامج تنقلاتها فى مسارات طويلة ومعقدة. فسبحان الله تعالى الذى أبدع هذه المنظومة، وأتقن دقة صنعها، وأحكم تحديد هدفها.

وفى عالم الإنسان كمنظومة فرعية، نجد أن عجائب الخلق متجلية بشكل واضح، وعلى نظام ثابت، ولها مقوماتها ومدخلاتها ونشاطاتها التى تتحول بأساليب معقدة إلى نواتج أو مخرجات ذات قيم محسوسة. فالإنسان هو ذلك الكيان البيولوجى أو الجسد البشرى بما يحتوى على أجهزة وأعضاء وجوارح ظاهرة وباطنة؛ وهو الوعاء الذى يُصب فيه الكيان المعنوى أو الذات الإنسانية بما يحتوى على مجموعة قوى متعددة من قلب وعقل وروح ونفس. والكيان البشرى ككل يمثل منظومة متكاملة، تحصل من البيئة المحيطة بها على عدة مدخلات منها الطعام النباتى والحيوانى، والشراب الطبيعى والصناعى، وتستنشق الهواء النقى والملوث. ومن خلال مجموعة من العمليات البيولوجية المعقدة داخل الجسم، يتحول الأكسجين إلى عادم فى صورة ثانى أكسيد الكربون، ويتحول الطعام والشراب إلى فضلات على هيئة بول وبراز وعرق، وتتحول البروتينات والكربوهيدرات والدهون إلى الطاقة اللازمة لإدارة هذا الكيان البشرى من خلال تجديد الدم الذى يمر فى أوردته وشرايينه بصفة مستمرة. فسبحان الله تعالى الذى أبدع هذه المنظومة، وأتقن دقة صنعها، وأحكم تحديد هدفها.

ويتضح من ذلك أن المنظومات هى السمة المميزة لجميع النشاطات، ومن الصعب أن نجد منهجًا يكون أكثر ملاءمة لدراسة أى نشاط عن منهج الإدارة العلمية الذى يتناول تطبيق المنهج العلمى، وشرح ظواهر التغيير فى مجال منظومات التشغيل، بما فى ذلك

تطوير النماذج الرياضية لفهم هذه الظواهر، ولاستشراف ما يحدث تحت الظروف المختلفة لمنظومات التشغيل.

وقد أدت ظاهرة خضوع منظومات التشغيل للدراسات والأبحاث، إلى استحداث كثير من التقنيات الفنية والإدارية المدعمة بتكنولوجيا الحاسبات والاتصالات والبرمجيات. وتنصهر هذه التكنولوجيات فى بوتقة واحدة مُخرجة لما يُعرف بالمعلوماتية التى خلقت ثورة فكرية فى تصميم وإدارة منظومات التشغيل.

وتكنولوجيا المعلومات لم تكن مألوفة من قبل. ففى الخمسينيات كان يُرمز إلى مصطلح المعلومات بالوثائق والمكتبات. أما فى التسعينيات، فقد أصبحت المعلومات تُعرف بالمعرفة الضرورية لأداء الأعمال وصنع القرار فى الحاضر أو فى المستقبل. كما أصبح من الضرورى تحرير المعلومات حتى يزدهر الاقتصاد، وينطلق الاستثمار؛ وكذا تدعيم القدرات التنافسية فى السوق العالمية، لتنساب المعلومة بسهولة بين وحدات ومراكز وأطراف منظومات التشغيل؛ وتوفير المعلومة الصحيحة بدقة عالية، وفى وقت مناسب، وبسعر ملائم لصانع القرار.

وتكنولوجيا المعلومات أثبتت قدرة فائقة على زيادة إنتاجية الموارد البشرية والمادية والطبيعية كمّا وكيفًا، وتقليل تكلفة الإنتاج بشقيه التصنيعى والخدمى، من خلال تخفيض العمالة ذات الشّق اليدوى، واعتماد على العمالة ذات الشّق الذهنى، وتوفير المواد الخام والوسيطة، وتقليل الفاقد فى استغلال الطاقة. فقد أصبحت المعلومات هى حلقة الوصل التى تربط بين احتياجات السوق، ومجهودات التصميم، وتنظيمات الإنتاج، ونشاطات التوزيع فى منظومة متكاملة، كما ساعدت على زيادة مراقبة ومتابعة الإدارة فى أداء الإنتاج وضبط الجودة.

ويهدف التطور الرهيب فى تكنولوجيا المعلومات إلى وجوب كون المعلومة متاحة لأى شخص، من أى مكان، وفى أى وقت، وبأى شكل، وتحت أى ظرف. وهذا يتطلب تدشين نظام عالمى جديد يجعل الإنسان فى شتى بقاع الأرض جزءًا من شبكات معلومات، بحيث يصبح بينه وبينها علاقة تكافل وتفاعل مستمر خلال أى نشاط يقوم به. ويستدعى التوصل إلى هذا المفهوم تغييرات عميقة فى الآليات والإستراتيجيات التى يتم إدخالها فى تصنيع الأجهزة والبرامج والشبكات، وفى تصميم قواعد البيانات وشبكات المعلومات، لتتناسب مع طبيعة التوجهات المستقبلية.

ويتضح من ذلك أن الإدارة على جميع المستويات يجب أن تعمل على أساس معلومات وليست آراء، وتصل إلى نتائج وليست نشاطات، وتعالج جذوراً وليست مظاهر، وتتبع أساليب علمية وليست مجهودات عشوائية. فتستغل المعلومات المتوافرة فى عملية صنع القرار التى يسودها أحيانًا طابع الحدس والعفوية. ولما كانت المعلوماتية تعتمد اعتماداً أساسيًا على مجموعة من الدعائم أو المحاور مثل تكنولوجيا الحاسبات، وتكنولوجيا الاتصالات، وتكنولوجيا البرمجيات، فإنها تؤدى دوراً رئيسيًا فى إحداث المتغيرات المتلاحقة السريعة المذهلة لهذه المحاور.

فقد أدت الطفرة المذهلة التى حدثت فى تكنولوجيا الحاسبات إلى تطور سريع فى تكنولوجيا المعلومات من تجهيز وإعداد وتبويب وتخزين واسترجاع، حيث أدى تطور تكنولوجيا الإلكترونيات فى صناعة الحاسبات إلى دمج شريحتى المعالج والذاكرة داخل شريحة واحدة بحجم وتكلفة أقل، وبطريقة ترفع قدرات خلايا الذاكرة المؤقتة بالحاسبات أربعة أضعاف، وقدراتها فى الأداء ثمانية أضعاف. وقد وصف هذا التطور بأنه يضع البشرية على بداية مرحلة جديدة من تصغير أجهزة الإلكترونيات والحاسبات فى حجومها وأوزانها وأسعارها، مما سيؤدى إلى استهلاك أقل فى المواد الأولية المستخدمة فى التصنيع، واستهلاك أقل فى الطاقة الكهربية داخل هذه الأجهزة مما سيقلل الحاجة إلى التبريد، وكفاءة أعلى فى التشغيل، مما سيؤدى إلى انخفاض أسعار هذه الأجهزة.

ويحضرنى فى هذا المقام، أنه خلال إقامتى فى الولايات المتحدة الأمريكية (1962 - 1975)، حضرت مؤتمراً عن المعلومات فى بتسبرج عام 1964. والمعلومات فى ذلك الوقت كانت تعنى الوثائق والمكتبات. وتصادف أن عرضت شركة I.B.M فيلمًا وثائقيًا بعنوان «عشرة آلاف يوم» أى (Ten Thousands Days)، ومدته نصف ساعة، قدم لنا فى الخمس عشرة دقيقة الأولى ما وصلنا إليه من إنجازات فى مجال تطبيقات الحاسبات خلال الثلاثين عامًا الماضية، فلم نصدق ما وصلنا إليه فى هذا المجال. ثم عرض علينا خلال الخمس عشرة دقيقة الأخرى ما نتوقع أن نصل إليه خلال الثلاثين عامًا المقبلة، فصدقنا كل هذه التصورات والابتكارات المذهلة التى لم نكن لنصدقها لولا أن شاهدنا إنجازات الفترة السابقة. وعندما أتذكر اليوم ما شاهدته فى الجزء الثانى من هذا الفيلم، وما وصلنا إليه من معجزات حتى هذا العام، أجد أن التوقعات المستقبلية التى جاءت فى الفيلم لا تكاد تزيد عن عُشْر ما توصلنا إليه حاليًا.

إننى لا أروى قصة فيلم من أفلام الخيال العلمى، إنما هو واقع الحاضر والمستقبل. وكل يوم نطالع اكتشافا جديداً من شأنه جعل الحياة أكثر سهولة ورفاهية وأماناً ويسراً. فالتحكم الإلكترونى عن بعد صار حقيقة، والنشاطات الخيالية صارت ممكنة بفضل التزاوج بين تكنولوجيا الحاسبات، وتكنولوجيا الاتصالات. فنحن نعيش فى خضم طفرة مذهلة فى تكنولوجيا المعلومات التى أتاحت للإنسان أن يستفيد من عقله بأقصى ما يمكن مع توفير الجهد الذى يبذله فى العمل اليدوى لصالح العمل الفكرى؛ ويستفيد من حواسه بأقصى ما يمكن مع توفير الوقت الذى يقضيه فى الانتقال اليومى لصالح الإنجاز الفعلى. فالإنجازات العلمية التى كانت تُعَدّ من جموح الخيال العلمى، انتقلت إلى عالم الإمكان، ولا حدود لهذا المسار الجديد من التطور، فالمجالات الإنسانية هائلة، والتطورات التكنولوجية مذهلة. وتوقعاتى فى المستقبل القريب أن التطور التكنولوجى فى مجالات الحاسبات والاتصالات والبرمجيات سيسيطر على الحياة، فتصبح الحياة مبرمجة فى مختلف المجالات، ويسود التحكم عن بعد فى مختلف النشاطات، فهل يتحكم الملل فى حياة البشر نتيجة هذا التطور؟

وقد أدت الطفرة الهائلة التى حدثت فى تكنولوجيا الاتصالات إلى تطور مذهل فى تكنولوجيا المعلومات من إنتاج ونقل وتوزيع ومعالجة وتحليل واستغلال. فقد حدث ترابط وتزاوج بين تكنولوجيا الاتصالات وتكنولوجيا الحاسبات منذ السبعينيات. ومع تطور الاتصالات من النظام التماثلى إلى النظام الرقمى، اتسع مجال الاتصالات ليشمل تكنولوجيا الحاسبات، وهندسة البرمجيات. ومع تطور تكنولوجيا الوسائط المتعددة، أصبح من الممكن التعامل مع إشارات الصوت والمعطيات والنص والصور الساكنة والمتحركة. فقد حررت تكنولوجيا الاتصالات الإنسان تدريجيا من قيود المكان، بل وتوسعت دائرة وجوده ليبدو وكأنه موجود فى أكثر من مكان فى ذات الوقت. وإذا كان هذا هو الواقع اليوم، فإنه يمكن أن نتخيل ما يمكن أن يؤدى إليه الاندماج المثير بين تكنولوجيا الحاسبات وتكنولوجيا الاتصالات لخدمة المعلوماتية على المدى القريب والبعيد.

واخترقت الحاسبات موضع القلب من منظومة الاتصالات، عندما تم تحويل السنترالات الكهروميكانيكية إلى سنترالات رقمية، إذ أثبتت الحاسبات قدرة فائقة ومرونة هائلة فى تحويل الرسائل. فالحاسبات تدين لتكنولوجيا الاتصالات بدورها الخطير التى

تلعبه حاليًا على مستوى العالم، والتى تشير جميع الدلائل إلى تعاظمه فى المستقبل. كما أن تكنولوجيا الاتصالات تدين للحاسبات الآلية والإلكترونيات الدقيقة بارتقائها التكنولوجى. لقد حرَّرت الاتصالات الحاسبات من الصالات المكيفة لتخرج بها إلى الأماكن الخارجية، تنشر خدماتها عبر القارات المترامية والفضاء الخارجى. وأصبحت تكنولوجيا المعلومات هى التى توصل المراكز بالفروع، وتقيم حلقات الوصل بين حاسب وآخر وبين مستخدم وآخر. إنها وسيلة كسر حواجز الزمان والمكان.

وأدت الطفرة المذهلة التى حدثت فى هندسة البرمجيات إلى تطور سريع فى تكنولوجيا المعلومات من مرونة وسرعة ودقة. والبرمجيات عبارة عن مجموعتين، كل منهما تأخذ طابعًا مميزًا، وهما: برامج التشغيل التى ترتبط ارتباطًا وثيقًا بمكونات أجهزة الحاسب الصماء؛ وبرامج التطبيق التى بدورها تتضمن البرمجة ذات المستوى الأدنى مثل أجهزة التحكم والأنظمة المدمجة، والبرمجة ذات المستوى الأعلى مثل النظم الإدارية والتصميمية.

وقد أدت عدَّة دوافع إلى تعقد عملية تطور البرمجيات، مما شجَّع على ظهور الحاجة إلى هندستها، وهى: تعامل نظم المعلوماتية مع مستويات الإدارة العليا، ومع مستويات التشغيل الدنيا، فتتفاوت دورها أو مستوى مهارتها؛ وتعقد التطبيقات بالرغم من دوام الرغبة فى توسيع وتعميق خدمات الحاسب؛ وقابلية البرمجيات للصيانة، أى سهولة إدخال التعديلات والتحسينات عليها؛ وضرورة تواجد إدارة حازمة لتطوير البرمجيات؛ ودخول تطبيقات المعلومات فى مجالات جديدة كالإنسانيات.

وتحتاج صناعة البرمجيات بطبيعتها إلى الكوادر البشرية المؤهلة تأهيلاً تقنيًا فى البرمجيات، والمؤسسات التنافسية المختصة بالبرمجيات، والاستخدام الأمثل للتقنيات الحديثة فى مجال البرمجيات. وقد مرت هندسة البرمجيات بتجارب عالمية، وقطعت شوطًا طويلاً فى تصنيع البرمجيات وتطويرها، حتى أصبحت هذه الصناعة مستقرة، تؤدى دورها الإيجابى فى دعم الدخل القومى.

الفصل الثانى: تحليل منظومات التشغيل

دراسة وتحليل المنظومات يتطلب مفهومًا جديدًا عن جدوى المنهج العلمى فى مساندة عملية تدعيم القرار. ولتقريب هذا المفهوم إلى ذهن القارئ، نقدم عدَّة منظومات علمية تمثل أنشطة متباينة فى الواقع العملى، والمشكلات التى قد تحدث فى أثناء تشغيل هذه الأنشطة، وهى فى مجالات الاستثمار، والإنتاج، والخدمات، والسياحة، والنقل، والصحة. وقد انتقيت عددًا محدودًا ضمن مشكلات كثيرة قمت بمعالجتها خلال أعمالى الاستشارية، وذلك لتوضيح كيفية تحليل هذه المشكلات من خلال تشكيل المنظومات العلمية التى تمثل النشاطات الواقعية. ونسرد هذه المنظومات على سبيل المثال لا الحصر.

منظومة استخدام المصاعد:

شكا سكان الوحدات الإدارية والسكنية بإحدى الأبراج فى كانساس سيتى بولاية كانساس بأمريكا من بطء الخدمة بالمصاعد وطول الانتظار، فقمت بتمثيل المشكلة بنموذج رياضى من نماذج صفوف الانتظار، وسجلت توقيتات وصول وانتظار وخدمة مستخدمى المصاعد. وتبين من هذه الدراسة التحليلية، أن وقت الانتظار أمام المصاعد لا يثير هذه الزوبعة، ولا يستأهل زيادة عدد المصاعد، مع العلم أن الواقفين أمام المصاعد يدَّعون أنهم ينتظرون على ملل.

فاقترحت فكرة غير تقليدية، وهى تغطية جميع حوائط المدخل الذى ينتظر فيه راغبو الخدمة أمام المصاعد بالمرايات من مستوى الأرض إلى السقف. وبالمراقبة عن بعد، وجدنا أن المنتظرين أمام المصاعد قد شغلوا أنفسهم بمراقبة الآخرين للتعرف على أذواقهم، والنظر إلى أنفسهم للتأكد من وسامتهم، وبذلك اختفت الشكاوى. ولم تفد المعالجة الرياضية لهذه المشكلة، بل إنّ المعالجة غير التقليدية التى اعتمدت على فهم السلوك البشرى هى التى قدمت حلاً لهذه المشكلة. ويمكن الرجوع إلى التقرير الداخلى التالى الذى يتضمن

تحليل المشكلة، وتشكيل المنظومـــة، وصـيـاغـة نموذج الانتظار، واقـتـراح الحل غـيـر الرياضى:

Ashour S., "A Non-Mathematical Approach for Resolving a Waiting Problem Infront of Elevators in an Administrative Building in Kansas City, Kansas, Internal Report, Kansas State University, May 1968.

منظومة عـلاج المرضـى:

عـانت مسـتشفى جامعـة أيوا بالولايات المتحـدة الأمريكية من سـوء توزيع الأعـمـال الإدارية بين القـائـمين على عـلاج المرضى من أطباء وصـيادلة وممرضـات. وقد أجريت ــ بصفتى مديراً فنيّا للمشروع آنذاك ــ دراسة ميدانية تحليلية عن طريق منحة من إدارة الصحة العامة للحكومة الفيدرالية الأمريكية. وقد تم صياغة منظومة تبدأ بتحرير أوامر الدواء أمام المريض بواسطة الطبيب المعالج، وإرسالها مباشرة عن طريق الحاسب الآلى إلى الصيدلية الفرعية التى تقوم بتجهيز الدواء فى صورة جرعات مستقلة (Unit Dose)، وإشراف الممرضة على تناول المريض لهذه الجرعات فى الأوقات المحددة. كما تم حصر جميع المعلومات التى تتدفق بين الطبيب والصيدلى والممرضة والإدارة، تمهيداً لتصميم منظومة معلوماتية لتجميع وتخزين واسترجاع ومعالجة المعلومات لإصدار تقارير إحصائية تدعم صانع القرار. وقد قدمنا هذه المنظومة المعلوماتية بالحاسب الآلى عن بعد فى أحد المؤتمرات العلمية بولاية فلوريدا. وأدت هذه المعالجة إلى استغلال وقت الصيادلة بطريقة أفضل، وزيادة عامل الأمان فى علاج المرضى، وتركيز الممرضات على أعمالهن الإنسانية مع تقليل نشاطهن الإدارى. ويمكن الرجوع إلى الورقة البحثية التالية التى تتضمن تشخيص المشكلة، وأسلوب المعالجة، ومنظومة المعلومات:

Ashour S,W. Tester, "A Computerized Decentralized Unit Dose Drug Distribution System", Proceedings of IFAC Symposium on Automatic Control and Computers in the Medical Field, Belguim, 1971, Also, Proceedings of the 19th Annual Institute Conference and Convention, AIIE May, 1968.

منظومة توريد البترول:

تمتلك إحدى شركات البترول الأمريكية بولاية أوكلاهوما بأمريكا تنكات على عربات سكك حديدية (Oil Tanks)، تُستخدم فى توصيل مشتقات البترول إلى العملاء. وقد

عانت الشركة من عدم توافر عرباتها لتنفيذ أوامر التوريد الجديدة، فكانت تضطر إلى التأخير فى التوريد، أو تأجير عربات لتلبية الطلبات، مما كان يكلفها كثيراً من النفقات، وفقد كثير من العملاء، وبالتالى خفض حجم المبيعات، وتقليل الإيرادات.

وعندما دعيت من قبَل الشركة لمعالجة المشكلة، كانت مجموعة باحثى العمليات فى الشركة، وهم متخصصون فى العلوم الرياضية، قد اتجهت إلى محاولة التعرف باستخدام الحاسب على أماكن هذه العربات فى جميع أنحاء الولايات المتحدة وعند البحث والتقصى تبين أن المشكلة تقع فى إقليم الوسط الغربى فقط (Mid-West)، وعليه فإنه يمكن أولاً تصغير حجم المشكلة لحصرها فى هذا الإقليم. وبالتحليل والمراجعة اتضح أن كثيراً من العملاء يستخدمون العربات كمخزن، إلى أن ينتهوا من بيع محتوياتها، ثم يعيدونها للشركة المالكة، وعليه فمن الضرورى متابعة حركة سير العربات، والتأكد من عودتها فى خلال أيام معدودة.

وقد اقترحت تعديل بعض بنود التعاقد مع العملاء، بحيث يشترط إعادة العربة فى خلال أسبوع من تاريخ التوريد، مع فرض غرامات مضاعفة لكل يوم تأخير. وقد نتج عن ذلك أن التزم العملاء بشروط التعاقد، تفاديًا من دفع الغرامات، وأصبحت العربات متوافرة لدى الشركة لتلبية جميع طلبات العملاء من مشتقات البترول. وبالتالى لم تعتمد هذه المعالجة على بناء نموذج رياضى أو إيجاد معالجة كمية، بل اعتمدت على حل قانونى. ويمكن الرجوع إلى التقرير الداخلى التالى الذى يتضمن تشخيص المشكلة، وأسلوب التحليل، واقتراح الحل:

Ashour S., et al, "A Railway Oil Tanks Inventroy System at Conoco Co., Panca City, Oklahoma, Internal Report, July 1969.

منظومة جدولة السفر:

عندما كنت أعمل أستاذًا بإحدى الجامعات الأمريكية، دعيت لإلقاء محاضرات فى 27 جامعة فى كل من مدينة أتوا وترونتو بكندا، ومدينة لينينجراد وموسكو بروسيا، وبعض مدن دول أوربية وهى أوسلو، أستوكهلم، كوبنهاجن، هلسنكى، بروكسل، فرانكفورت، ميونخ، كولون، زيوريخ، جنيف، باريس، شتراسبورج، لندن، برمنجهام، براغ، روما، ميلانو، نابولى، أثينا، أنقره، لوكسمبرج، أمستردام،

روتردام. وعندما اتصلت بإحدى شركات الطيران الدولية، أفادت أن تكلفة الرحلة ستزيد 50% عن التكلفة العادية نظرًا لكثرة الطيران هبوطًا وصعودًا (Zigzag)، نتج عنه طول المسافات بالميل.

فاستخدمت برنامج كمبيوتر نمطى، يقدم حلولاً لمشكلة البائع المسافر (Travelling Salesman Problem)، الذى يبدأ من مدينة معينة ويزور عدة مدن ثم يعود لنفس المدينة التى بدأ منها، بشرط أن يكون إجمالى المسافة أقصر ما يمكن. وحتى يمكن تحديد مواعيد زيارة كل جامعة، غذيت البرنامج بالمدن التى أرغب فى زيارتها بدءًا من كانساس سيتى بأمريكا والمسافات الجوية بالميل بين كل مدينة وأخرى، بشرط العودة إلى كانساس سيتى بعد إتمام الرحلة. وحصلت على برنامج الرحلة التى على أساسها حدَّدت موعد زيارة كل جامعة. وقد ترتب على ذلك أن التكلفة زادت 25% فقط عن التكلفة العادية وليست 50% كما أفادت شركات الطيران. وهذه المعالجة أعطت حلاً مثاليًا، مستخدمًا نموذجًا رياضيًا نمطيًا.

منظومة درفلة الكتل:

يقوم أحد مصانع الحديد والصلب بولاية بنسلفانيا بأمريكا بإنتاج الصلب من كتل مصبوبة. وعادة ما يسبق وحدة درفلة الكتل (Rolling Mill) مجموعة من الأفران الغاطسة (Soaking Pits) التى تعمل على إعادة تسخين أسطح الكتل قبل درفلتها، وغطس الكتل لضمان تجانس حرارتها، مع تخزينها لحين درفلتها. ونظرًا لعشوائية وصول الكتل من خلاط الصلب (Steel Mixer) إلى وحدة الدرفلة، أو تفاوت درجات حرارة الكتل (أحيانًا تكون الكتل باردة)، أو قلة سعة الأفران الغاطسة، أو توقف الأفران لصيانتها أو إصلاحها، فإنه يؤثر على حجم إنتاج المنتجات المدرفلة. والمطلوب تحديد الحجم الأمثل للأفران الغاطسة عن طريق إجراء مقارنة اقتصادية بين تكلفة تقديم الخدمة، وتكلفة الانتظار للحصول على هذه الخدمة. لذلك وجب تشكيل منظومة إنتاجية للتنبؤ بمدى تأثير أعطال وصيانات وإصلاحات الأفران الغاطسة، وكذا التنبؤ بتحسين سعة المنظومة من خلال إمكانية إضافة وحدات أفران غاطسة جديدة.

وقد تم صياغة هذه المشكلة فى منظومة مبتكرة من منظومات صفوف الانتظار الدائرية (Cyclic Queueing Systems)، بحيث تكون المدخلات هى الكتل التى تصل الأفران الغاطسة، متخيلاً أنها تدور فى صف انتظار من قبل وحدة الدرفلة وحتى وصولها

للدرفلة، ووحدة الدرفلة تمثل محطة الخدمة الفردية. ولما كانت الأفران الغاطسة لا تُشحن بدفعة أخرى من الكتل إلا إذا تم درفلة الدفعة السابقة كلها، فإن الوقت اللازم لسحب دفعة من الكتل من الأفران ما هو إلا وقت تشغيل الدفعة كلها في وحدة الدرفلة. وتبدأ الأفران في الدوران الوهمي بمجرد استكمال الخدمة. ويمكن تحديد وقت الانتقال (Transit Time) بأنه الوقت ما بين نهاية خدمة الفرن وإعادته لصف الانتظار للدرفلة، أي أنه حاصل جمع الوقت اللازم لإعادة شحن الفرن بكتل باردة أو ساخنة، والوقت اللازم لإعادة تسخين الكتل إلى درجة الحرارة المطلوبة للدرفلة. وقد تم تخطيط منظومة محاكاة (Simulation System) تُمثِّل منظومة صف الانتظار الدائرى، واستخدم الحاسب الآلى للتنبؤ بالخواص الديناميكية، وتوصلنا إلى الحجم الأمثل للأفران الغاطسة التى تقلل من توقف وحدة الدرفلة. ويمكن الرجوع إلى الورقة البحثية التالية التى تتضمن تشخيص المشكلة، وتشكيل المنظومة، وتمثيل نموذج المحاكاة، ونتائج النموذج:

Ashour S., S. Bindingwale, "An Optimal Design of a Soaking-Pit Rolling-Mill System", The Journal of the Society for Computer Simulation, June 1972.

منظومة اللاحرب واللاسلم:

دعا الأستاذ محمد حسنين هيكل ـ رئيس مجلس إدارة مؤسسة الأهرام فى ذلك الوقت ـ المؤلف وأستاذًا آخر فى صيف 1972 لمناقشة حالة «اللاحرب واللاسلم». فمثلنا هذه الحالة بنموذج رياضى مبسط للغاية، وهو عبارة عن مصفوفة من أربعة أعمدة تُمثِّل البلاد المؤثرة والمتأثرة بمشكلة الشرق الأوسط وهى: مصر ممثلة للبلاد العربية، وإسرائيل، وأمريكا، وروسيا. واثنى عشر صفًا تُمثِّل العناصر العسكرية والاقتصادية والاجتماعية والسياسية وغيرها، ثم عرضنا هذا النموذج على سبورة أمام عدد محدود من المسئولين (سبعة أشخاص منهم الأستاذ محمد حسنين هيكل، والدكتور عبد الملك عودة، والأستاذ حاتم صادق) فى اجتماع مغلق، وأجرينا عملية التقويم تحت إشرافنا، وكانت النتيجة ـ على ما أتذكر ـ أكثر من 500 نقطة لإسرائيل، وما يقرب من 300 نقطة لروسيا، وحوالى 200 نقطة لأمريكا، و110 نقطة بالسلب لمصر.

فكانت مفاجأة للجميع أن حالة «اللاحرب واللاسلم» فى صالح روسيا أكثر من أمريكا، وأنه من الضرورى تغيير هذه الحالة بأى شكل من الأشكال لأنها فى صالح إسرائيل أكثر. فهذه المعالجة قد اعتمدت على نموذج رياضى مبسط للغاية بهدف الوصول

إلى مؤشر وليس إلى حل. ويمكن الرجوع إلى النتائج التى نشرت خلال شهر سبتمبر عام 1972 ضمن مقالات الأستاذ هيكل عن اللاحرب واللاسلم فى جريدة الأهرام، والتقرير الداخلى التالى الذى يتضمن عناصر النموذج، ونتائج التحليل:

Saaty T., S. Ashour, "No-War No-Peace Mathematical Model, Internal Report, Al-Ahram Establishment, July 1972. Results appeared in Al-Ahram Newspaper, September 1972.

منظومة ضخ البترول:

تمتلك إحدى شركات البترول الأمريكية خط أنابيب فى ولاية أوكلاهوما، ماراً بتسع معامل تكرير، كل منها ينتج ما بين منتج واحد وستة منتجات نفطية وهى البروبين، والأيزوبوتين، والبوتين الطبيعى، والبروبين / البوتين، والغاز الطبيعى، والبوتين الحقلى. ويقوم كل معمل تكرير بتخزين منتجاته فى تنكات مخصصة لكل منتج، وموصّل بكل تنك مضخة لضخ المنتج مباشرة فى خط الأنابيب الذى يسع 27,786 برميلاً. وعند ضخ مشتقات نفطية من التنكات التى يبلغ إجمالها 20 تنكاً فى خط الأنابيب، ينتج عنه خليط من تمازج نوعين متتاليين أو متعاقبين، مما يؤدى إلى كمية مخلوطة ذات مواصفات وأسعار أقل من مواصفات وأسعار كل من هذين النوعين. والمطلوب تحديد أنسب جدولة لتدفق المنتجات النفطية المختلفة من معامل التكرير خلال فترة معينة، بحيث تكون الخلائط الممزوجة من ضخ مختلف الدفعات النفطية أقل ما يمكن، مع مراعاة عدم حدوث تدفق (Overflow) من أى تنك بسبب وصول الكمية إلى أعلى من مستوى الأمان، مع عدم تصريفه بالضخ.

فقد تم تحديد خصائص تشغيل خط الأنابيب، وتشخيص أنواع الخلائط التى حصرت فى سبعة أنواع، بحيث يمكن تحديد مركز الخط بعد كل دفعة يتم ضخها، أى حجم ومكان كل دفعة نفطية. ولتحاشى تكوّن هذه الخلائط، وبناء على خبرة القائمين على تشغيل خط الأنابيب، تبين أنه عند ضخ منتج معين فى خط الأنابيب، فإنه يتجمع حوالى 200 برميل على الأقل من نفس النوعين من الناحيتين، وإلا ستنتج هذه الخلائط بصرف النظر عن نوعية المنتج الذى تم ضخه من هذا المعمل. وقد تم تخطيط خواريزم يناسب هذه المشكلة مستخدماً الحاسب الآلى، وتم محاكاة تشغيل المنظومة لمدة 600 ساعة، وحساب 7 برامج جدولة، بحيث يكون أقل فترة ضخ هى 30 دقيقة، وأجريت مقارنة بين

الجدولة المقترحة والجدولة السابقة، فتبين أن متوسط التحسين فى المنظومة وصل إلى 44.5%. ويمكن الرجوع إلى الورقة البحثية التالية التى تتضمن تشخيص المشكلة، وصياغة المنظومة، وتصميم الخوارزم، ومقارنة النتائج:

Ashour S., A. Pai, "An Algorithmic Approach for Scheduling a Multi-Product Pipeline System", The International Journal of System Science, Vol. 4, No. 2, 1973.

منظومة جدولة المشغولات:

حصلت إحدى الشركات الدولية فى الولايات المتحدة الأمريكية على أمر تشغيل 276 جزءاً من جناحى الطائرة 747 فى ورشها. وقد طُلب منا جدولة هذه المشغولات على مختلف الماكينات، بهدف تخفيض إجمالى وقت التشغيل، أو تقليل وقت الماكينات الضائع، وبالتالى تخفيض التكلفة. وبعد دراسة فنية تحليلية لتحديد مسار كل مشغولة على مختلف الماكينات، وحساب وقت التشغيل على كل ماكينة، أمكن تصميم مصفوفة تضم الأجزاء والماكينات ومحدداً فيها مسار أو تتابع الماكينات لكل جزء من الأجزاء، وأوقات التشغيل على كل ماكينة من الماكينات. ونظراً لكبر حجم المشكلة، فقد صرفنا النظر عن محاولات إيجاد الحل الأمثل للجدولة، واكتفينا بالحصول على حل أقرب إلى الحل الأمثل، وركزنا على الحصول على هذا الحل فى أقل وقت ممكن. فقد تم تطبيق نموذج رياضى يعتمد على أسلوب (Branch-and-Bound Approach)، كنا قد صممناه من قبل لحل المشكلات الترابطية (Combinatorial Problems) للحصول على حل أقرب إلى الحل الأمثل فى أسرع وقت ممكن. وتم تخطيط الخوارزم الخاص بهذا النموذج على الحاسب الآلى، وأجريت التجارب الأولية للاطمئنان إلى صلاحية البرنامج. وقد حصلنا على نتائج باهرة، وفرت مئات الآلاف من الدولارات. ويمكن الرجوع إلى الورقة البحثية التالية التى تتضمن عناصر المشكلة، وصياغة المنظومة، وأسلوب المعالجة، ونتائج الحل:

Ashour S., Moore, and K. Chiu, "An Implicit Enumeration Algorithm for the Non-Preemptive Shop Scheduling Problem", The Journal of American Institute of Industrial Engineers (AIIE), Vol. 6, No. 1, 1973.

منظومة محاكاة التشغيل:

تعاقدت إحدى الدول العربية المنتجة للبترول مع إحدى الشركات الأمريكية لتصميم محاكي لمنظومة متكاملة لتدريب العاملين بمعامل تكرير البترول. وقد دعيت من قبَل حكومة هذه الدولة للانضمام كخبير استشارى إلى الوفد الحكومى الذى سيزور الشَركة الأمريكية للاطلاع على ما تم إنجازه فى المشروع بعد ستة شهور من تاريخ التعاقد. وعند تقديم الجانب الأمريكى لما تم عمله فى المشروع (Progress Presentation)، تبين أن الشركة قامت بتجزئة المنظومة المتكاملة إلى عدة منظومات فرعية، وتوصلت إلى الحل الأمثل لكل منظومة فرعية، ثم ربطت هذه المنظومات الفرعية لتشكيل المنظومة المتكاملة، متناسية أن هذا الأسلوب لا يضمن الحل الأمثل للمنظومة المتكاملة، بعد ربط المنظومات الفرعية بعضها ببعض. فما كان من الشركة إلا أن أعادت العمل مرة أخرى ـ بعد أن نبهتها إلى ذلك ـ على أساس المنظومة المتكاملة. ويمكن الرجوع إلى التقرير الداخلى التالى الذى يتضمن تحليل المنظومة، وأسس المناقشة، وإعادة التصميم:

Ashour S., et al., "Development of an Integrated Simulation System for Training Oil Refinery Operators in Libya by Singer Company, U.S.A", Internal Report, Singer Co., May 1975.

منظومة تخطيط النقل:

طلب صندوق الإنماء الكويتى منّا ـ كمجموعة من العلماء الأمريكيين الذين انحدروا من أصل عربى، والذين أسسوا منظمة لتنمية الموارد العربية فى أمريكا "Association for the Development of Arab Resources, ADAR"، وهى التى تشرفت بأنى كنت نائبًا لرئيس مجلس إداراتها ـ إجراء دراسة عن تخطيط منظومة النقل فى السودان. وقد أدت هذه الدراسة، التى استغرقت عامين، إلى استخدام أحد عشر نموذجًا رياضيا ما بين نماذج معقدة وأخرى مبسطة لمعالجة مشكلة النقل، ويمكن إيجازها على النحو التالى:

* نموذج بناء السيناريوهات (Scenario Model Building) بغية تحديد الصورة المطلوبة، وحتى يمكن التنبؤ باحتياجات النقل من وسائل وأحجام.

* نموذج مقارنة زوجية (Priority-Pair Comparative Model) لتحديد الأولويات لبناء عدة سيناريوهات، كل لها خصائصها. وكذا توزيع تدفق البضائع والمسافرين على

مختلف وسائل النقل (Modes of Transportation) من برية، ونهرية، وحديدية، وبحرية، وجوية؛ وجدولة مراحل مشروعات الخطة.

* نموذج اقتصادى رياضى (Econometric Model) لدراسة سلوك اقتصاد السودان رياضيًا، وتنبؤ بحجم أنشطة جميع قطاعات الاقتصاد السودانى لمدة خمسة عشر عامًا، وتقويم كيفى للسيناريوهات المركبة.

* نماذج المحاكاة (Simulation Models) لتقويم بدائل السياسات الاقتصادية، وتقويم بدائل سياسات النقل، وتوزيع تدفق البضائع والمسافرين على مختلف وسائل النقل، وتحديد الطرق بين المناطق، على أساس مراكز الثقل.

* نموذج البرمجة الخطية (Linear Programming Model) لتحديد تدفق البضائع من وإلى مراكز ثقل المناطق.

* نموذج اقتصادى هندسى (Engineering Economy Model) لتحديد قيم الاستثمارات المطلوبة لتزويد السودان بالمعدات من مختلف وسائل النقل، وكذا المعدات المستبدلة.

* نموذج التكلفة والفائدة (Cost/Benefit Model) لتحديد جدوى مشروع ازدواج خط السكك الحديدية من بورسودان إلى الخرطوم.

* نماذج عشوائية (Heueristic Models) لتحديد القدرات الاستيعابية لمختلف وسائل النقل من برية، وحديدية، ونهرية، وبحرية، وجوية.

* نماذج تحليل الشبكات (Network Analysis Models) لتحديد أقصر الطرق بين مختلف المناطق بالنسبة لمختلف وسائل النقل.

* نماذج إحصائية (Statistical Forecasting Models) للتنبؤ باحتياجات المسافرين والبضائع من وسائل النقل وسعاتها.

* نماذج جدولة المشروعات (Project Sequencing Models) لتحديد بدء ونهاية مشروعات الخطة.

يتضح من ذلك أن منظومات وأساليب بحوث العمليات التى استخدمت فى مشروع تخطيط النقل فى السودان قد تنوعت كثيرًا. وأثبتت النماذج الرياضية أنها تمتلك المقومات التى تؤهلها إلى اتباع المنهج العلمى فى مجالات التخطيط والتشغيل. ويمكن الرجوع إلى

التقرير التالى الذى يتكون من خمسة أجزاء، ويوجد نسخ منه فى كل من وزارتى النقل والتخطيط بحكومة السودان، وصندوق الإنماء الكويتى، والبنك الدولى فى واشنجتون:

Saaty T., S. Ashour, et al., "The Development of a Transport Plan in The Sudan"., 5 Volumes, Project Performed by The Association for the Develoment of Arab Resources (ADAR), Philadelphia, PA., U.S.A., and sponsered by Kuwait Investment Fund, 1975.

منظومة استثمار الأموال:

وصل أحد المصريين المقيمين فى سويسرا إلى القاهرة خلال عصر الانفتاح، عارضًا مشروعًا لإنتاج ساعة يد بها ميزات وخصائص معينة تفيد المسلم فى صلاته، والقبطان فى عمله، وغيرها، وقدم دراسة جدوى للمشروع، مسجلاً أن الربحية قد تصل إلى حوالى 56%، وطلب اشتراك عشرة مؤسسين فقط، يساهمون فى رأس مال يقدر بحوالى 5 مليون فرنك سويسرى. وبعد اجتماع عاصف استمر حتى الثانية صباحًا وافق المؤسسون - وأنا أحدهم - مبدئيّا على المساهمة فى المشروع. ولكن عند انصرافى طلبت من صاحب المشروع الحصول على نسخة من دراسة الجدوى، بشرط إعادتها فى اليوم التالى. ولم أنم إلا بعد أن طبقت نموذجًا رياضيّا بسيطًا لتحديد نقطة التعادل التى تعطى مستوى حجم إنتاج بدون ربح أو خسارة. فتبين أن هذا الحجم كبير جدّا، بحيث لم أتوقع إمكانية توزيعه، وعليه فإن المشروع يُعَدّ خاسرًا! وعلى هذا الأساس رفضت الاشتراك فى المشروع. ويمكن الرجوع إلى دراسة الجدوى التالية التى قُدمت فى ذلك الوقت:

Nosouhi A., "An Investment Plan in a Watch Manufacturing Project-A Feasibility Study, Internal Report, February 1976.

منظومة تخطيط الإنتاج:

درست خطوات إنتاج مكونات الشكمانات فى أحد مصانع الشركات المغذية للسيارات فى مدينة السادس من أكتوبر التى أعمل استشاريّا لها، وذلك لسد متطلبات شركات تجميع السيارات فى مصر، نظرًا لشدة المنافسة فى أسعار الشكمانات محليّا

وعالميًا. وقد تبين ضرورة إعادة تخطيط المصنع الذى يتكون من وحدات أعمال الصاج، وتصنيع العلب، وتجميع المكونات، ودهان الأجزاء، بهدف تخفيض التكلفة. وبدئ فى إعادة تنظيم خطى إنتاج العلب المستديرة والعلب البيضاوية فنيًا، بغية الوصول إلى الاستفادة القصوى من الماكينات التى تشمل المكابس، وماكينات الدسرة، وماكينات اللحام، ثم توليد عدّة بدائل وتقويمها على أساس تقليل تكلفة مناولة المواد، مع تعظيم معدل التقارب. وقد استخدم أسلوب عشوائى لتوليد وتقويم البدائل لاختيار التخطيط الأفضل، مع تطبيق طريقة بيانية لتحليل مدى حساسية هذا التخطيط. وقد توصلنا من جراء تطبيق المنظومة المقترحة إلى تخفيض تكلفة إنتاج العلب بنسبة تصل إلى 17%. ويمكن الرجوع إلى الورقة البحثية التالية التى تتضمن تشخيص المشكلة، وأسلوب المعالجة، وتحليل ومقارنة النتائج:

Sallam, M., S. Ashour, and M. EL-Sharief, "A Multi-Objectives Layout Planning Approach, Presented at ASME International Conference, DETEC 2000, FLEX (Flexible Manufacturing Systems), Baltimore, Maryland. September, 10 - 13, 2000.

هذه عينة من منظومات علمية لمشكلات واقعية، قدمناها كأمثلة حية عن كيفية صياغة المنظومات لمعالجة المشكلات، وهى تتطلب مهارة وتخيلاً. فالمهارة يمكن اكتسابها عن طريق المعرفة والأساليب. كما يمكن التمرين أو التدريب على التخيل بعرض مشكلات مصاغة فى منظومات، مستخدمين فى ذلك بعض التصورات الابتكارية.

الجـزء الأول
منهجية المنظومات العلمية

الباب الثـانـي: معالجـة مشكلات التشـغيل

البـاب الثـالـث : إدارة مـنظومـات التـشـغيل

أصبحت خصائص منظومات التشغيل ـ القادرة على تصميم عمليات تحويل المقومات ذات القيم المعينة إلى النواتج ذات القيم المضافة ؛ والقادرة على تصنيع السلع وتقديم الخدمات المتباينة لإرضاء المستهلكين والمستفيدين ؛ والقادرة على إدارة وظائف ومهام المنظومة بكفاءة عالية ـ تُمثِّل الرؤية المستقبلية لمنهجية هندسة وعلمية ونمذجة الإدارة .

منهجية هندسة الإدارة:

هندسة الإدارة (Engineering Management) ما هى إلا تطبيق ابتكارى للعلوم الرياضية والطبيعية والإنسانية ، واستخدام أمثل المعارف النوعية والمهارات التخصصية ، التى تمكن من التصميم الهندسى ، والتصنيع التكنولوجى ، والتنظيم الصناعى للمنظومات الإنتاجية المتكاملة ـ سواء كانت تصنيعية أو خدمية ـ أى منظومات التشغيل التى تتضمن المدخلات والتحويلات والمخرجات ، وذلك للحصول على سلعة منتجة أو خدمة مقدمة ، بمواصفات قياسية محدَّدة لتكون سهلة فى الاستعمال ؛ وبأساليب تكنولوجية ممكنة لتكون بسيطة فى التصنيع ؛ وبجودة ذات مستوى عال من الدقة لتكون جيدة فى الأداء ؛ وبكميات تتلاءم مع متطلبات السوق الفعلية لتكون متوافرة عند الطلب ؛ وفى وقت مناسب لاحتياجات المستهلك لتكون حقيقة عند التسويق ؛ وبأقل تكلفة متوقعة لتكون بسعر مقبول لدى المشترى .

ويتضح من هذا التعريف أن المنظومة الإنتاجية المتكاملة تتطلب بُعْدًا تصميميّا ، وبُعْدًا تكنولوجيّا ، وبُعْدًا تنظيميّا . ويمكن تفسير هذه الأبعاد على النحو التالى :

* البُعْد التصميمى يحتاج إلى تطبيق العلوم الطبيعية ، والأساسيات الهندسية ، والمعارف الإنسانية ، فى تصميم السلع أو المعدات أو العدد ، مراعيًا فى ذلك العوامل الهندسية ، والمعايير الاقتصادية ، والاحتياجات الإنسانية ، حتى يكون المنتج قابلاً للاستعمال ، منخفضًا فى التكاليف ، منافسًا لنظيره ، سهلاً فى الصيانة . والتصميم

الهندسى هو الحلقة التى تربط بين العلم والتقنية، وهو يحتاج إلى عمل ذهنى، وفكر مبدع، ونشاط خلاّق، لتحويل الأفكار والمعارف إلى سلع ذات قيم مضافة. فهو يتعلق باستحداث أوتطوير منتج معين بما يتطلب من بحث وتطوير واختبار، لاستنباط مواصفات قياسية، وإعداد رسومات هندسية، وتجهيز نموذج تجريبى للتأكد من صلاحيته حتى يمكن من تسويقه لصالح المستهلك.

* البُعْد التكنولوجى يحتاج إلى استخدام مجموعة من المعارف والمهارات التى تتضمن نظريات وأساليب وتكنولوجيات التصنيع بما فيها من عمليات تشغيل أو تشكيل، حتى يمكن اختيار تسلسل العمليات الإنتاجية للتصنيع، وأمثل المعدات والعدد للتشغيل، وأدق القوالب والإسطمبات للتشكيل، وأنسب المثبتات والمحددات للإنتاج.

* البُعْد التنظيمى يحتاج إلى استيعاب كامل للإدارة العلمية، والعلوم الإنسانية، والمهارات الشخصية، والإحساسات الداخلية، لتنظيم منظومة إنتاجية على المستوى الكلى والجزئى، وذلك بالتخطيط السليم لسياسات المنظومة، والتنبؤ بالمستقبل لسلوك المنظومة، والتحليل المنطقى لاقتصاديات المنظومة، والمراقبة الفعالة لعمليات المنظومة.

ومن الجدير بالذكر، أنه يوجد فرق شاسع بين الإدارة الهندسية (Management Engineering)، والهندسية الإدارية (Engineering Management)، إذ إن الإدارة الهندسية ترمز إلى الإدارات أو الأقسام الهندسية، كإدارة أو قسم التصميم، وإدارة أو قسم الإنتاج، وإدارة أو قسم الصيانة، التى تقوم بالنشاط الإدارى فى هذه الإدارات أو الأقسام الهندسية. ويراعى فى ذلك النظر إلى الإدارة أو القسم كمنظومة متكاملة ومستمرة ومتزامنة، لا يتعارض فيها الجزء مع الكل، وعلى أن الخلل فى أى جانب منها أو منه تتداعى له سائر الجوانب من مدخلات وتحويلات ومخرجات. وهذا يعنى ضرورة الاهتمام بالجزء والكل معًا فى ظل نظام معلومات فعال وكفء.

أما الهندسة الإدارية فهى تطبيق الأسلوب الهندسى فى إدارة المؤسسات الإنتاجية، ومعالجة المشكلات الإدارية، وصنع القرارات التنفيذية، وفى ذلك تزاول الهندسة الإدارية وظائفها من تخطيط وتنظيم وتحليل وتحكم. وقد اختصت الهندسة الإدارية فى أول عهدها بالمشكلات اليومية التى قد تحدث فى المؤسسات الإنتاجية، حيث كانت معظم عمليات التشغيل والتشكيل تجرى يدويًا أو بالاستعانة بماكينات بدائية. ولما كان التركيز على تعظيم الربحية فى المؤسسات الإنتاجية، فقد اختصت الهندسة الإدارية بمحاولة تخفيض عناصر التكلفة فى جميع مراحل التصنيع والتغليف والتخزين والنقل، أو زيادة حجم الإنتاج بنفس التكلفة الإجمالية.

وقد استخدمت فى ذلك أساليب تقليدية أو كلاسيكية (Classical Techniques) لمعالجة مشكلات الإدارة الوسطى (Middle Management)، أى المشكلات التى على المستوى الميكرو، ويعنى المستوى المصغّر (Micro-Level Problems). ومن هذه الأساليب على سبيل المثال وليس الحصر: اختيار الموقع (Plant Location)، وتخطيط المصانع (Plant Layout)، وهندسة المنتج (Product Engineering)، وهندسة التصنيع (Manufacturing Engineering)، وتقويم الوظائف (Job Evaluation)، ونظم الأجور والحوافز (Wage & Incentive Systems)، ودراسة وقياس العمل (Work Study & Measurement)، واقتصاد هندسى (Engineering Economy)، ومراقبة العمليات (Process Control)، ومراقبة الإنتاج (Production Control)، ومراقبة الجودة (Quality Control)، ومراقبة المخزون (Inventory Control)، وتكنولوجيا التغليف (Packaging Technology)، ومناولة المواد (Materials Handling)، ونظم التكاليف (Costing Systems)، وعلاقات صناعية (Industrial Relations)، وهندسة التقويم (Value Engineering).

ونظراً لتطبيق هذه الأساليب فى المصانع الإنتاجية خلال عصر الثورة الصناعية، فقد عرفت بالهندسة الصناعية، وأنشئ فى الولايات المتحدة الأمريكية المعهد الأمريكى للمهندسين الصناعيين (The American Institute for Industrial Engineers) فى الأربعينيات. وبمرور الوقت توسعت التطبيقات وشملت المؤسسات الخدمية أيضاً.

وقد أدى كبر حجم المنظومات الإنتاجية، وتعقد نشاطاتها، وتطور تكنولوجياتها وكثرة معلوماتها، إلى ابتكار عدّة أساليب حديثة (Modern Techniques) لمعالجة مشكلات الإدارة العليا (Top Management)، أى المشكلات التى على المستوى الماكرو، ويعنى المستوى الموسّع (Macro-Level Problems)، مثل مشكلات الاستثمار المالى، والتسويق السلعى، والقدرات التنافسية، فساهمت العلوم الرياضية والطبيعية والإنسانية فى ابتكار أساليب كمية وكيفية مثل هندسة المنظومات المتكاملة، ومنهجية الهندسة الإدارية، ومنهجية الإدارة العلمية، ومنهجية النمذجة الرياضية. وقد أدّى تطور قدرات الحاسبات والاتصالات دوراً رئيسيّا ومهمّا فى تطور وانتشار دراسات الهندسة الإدارية، كما أصبحت تكنولوجيا المعلومات لها دور حاسم فى إدارة المنظومات الإنتاجية.

وقد جرت محاولات عديدة فى أمريكا لتغيير إسم الهندسة الصناعية (Industrial Engineering) إلى الهندسة الإدارية ما دامت الأساليب المبتكرة

والمطورة تطبق فى جميع مجالات المنظومات التصنيعية أمثال المصانع والمعامل والورش، والمنظومات الخدمية أمثال المستشفيات والمدارس والبنوك. ولكن باءت هذه المحاولات بالفشل بحجة أن اسم «الهندسة الصناعية» أصبح مشهوراً، ولا داعى لتغييره.

ومما هو جدير بالذكر، أن المهندس الصناعى له شخصية مميزة عن باقى المهندسين ذوى التخصصات الأخرى. فالمهندس الميكانيكى يقوم بتصميم وتطوير وتشغيل المعدات والماكينات والمحركات الميكانيكية، والمهندس الكهربائى يقوم بتصميم وتطوير وتشغيل الآلات والأجهزة والمحطات الكهربية، والمهندس المدنى يقوم بتصميم وتنفيذ المبانى والكبارى والمنشآت المعدنية. أما المهندس الصناعى فهو يقوم بتصميم أو تحسين وتنفيذ منظومات إنتاجية متكاملة، سواء كانت تصنيعية أو خدمية، من مواد ومعدات وعمالة وغيرها؛ كما يقوم بالتحليل الهندسى لتوصيف وتنبؤ وتقويم النتائج التى يمكن الحصول عليها من هذه المنظومات. فالمهندسون غير الصناعيين يتعاملون مع العناصر المادية، فى حين أن المهندس الصناعى يتعامل مع مختلف المدخلات من عناصر مادية وبشرية ذات مقومات مناسبة، محاولاً تصميم توليفة من هذه المدخلات، بحيث تكون مفيدة فنيّا، وملائمة ماديّا، ومتوافقة إنسانيّا، وذلك للحصول على مخرجات معينة ذات قيم مضافة عالية.

ويمكن تشبيه المهندس الصناعى بربة البيت. فإذا فرضنا أن رجلاً متزوج من امرأتين، وهو فى مراعاته للشريعة الإسلامية، فإنه يعدل بينهما فى المسكن والملبس والمأكل وغيرها!! وقد طلب يومًا من كل منهما تحضير عشاء فاخر مكون من أصناف معينة لتقديمه لعدد محدود من الضيوف فى وقت معين. وذهب إلى السوق ليشترى جميع المقومات أو المدخلات المطلوبة من لحوم وطيور وأسماك وخضراوات وأرز وفواكه وحلوى وغيرها بنفس النوعية والكمية والكيفية؛ حيث ستتعامل كل سيدة مع هذه المدخلات فى مطبخ مجهز بنفس الأجهزة لطبخ الطعام وإخراج الأصناف المطلوبة. ولما كانت كل سيدة بكل خبرتها وذوقها وحماستها وحبها لهؤلاء الضيوف هى أحد هذه المدخلات، فنحن نتوقع أن الطعام المقدم من السيدتين سيختلف فى الطعم والنكهة والشكل حسب خبرة وذوق كل سيدة، لأن ما يسمَّى «نَفَسَ الست» هو العامل الإنسانى الذى يتعامل معه المهندس الصناعى مع بقية المدخلات.

منهجية علمية الإدارة:

علمية الإدارة (Scientific Management) ما هى إلا تطبيق ابتكارى للمنهجية العلمية فى دعم عملية صنع القرار، وفى تحقيق أقصى فعالية ممكنة. وهذا لا يعنى بالضرورة تقبل

نتائج الدراسات العلمية، كما لا يعنى الابتعاد عن الأحاسيس الداخلية والحدس الشخصى لصانع القرار.

والمنظومات الإنتاجية ـ وهى منظومات التشغيل ـ تواجه تحديات ومتغيرات عصر التطور التكنولوجى السريع فى الاتصالات والحاسبات والمعلومات التى أصبح لها دور حاسم فى الإدارة. لذلك فهى تتطلب برنامجًا طموحًا شاملاً عدَّة عناصر أهمها: (1) استيعاب التكنولوجيا المناسبة، وتطويرها على مستوى المنظومة، حتى يمكن مواجهة التحديات والمتغيرات؛ (2) تنمية القوى البشرية لتصبح ذات معرفة علمية، وخبرة عملية تتوافق مع المتغيرات المستقبلية؛ (3) تطبيق منهج علمى لتخفيض عناصر تكلفة التشغيل والإدارة، مع ضمان جودة السلعة المنتجة أو الخدمة المقدمة بالسعر المناسب للمستهلك؛ (4) وضع إستراتيجية تسويقية علمية تضمن متطلبات وأذواق المستهلكين بمواصفات وجودة وسعر منافس.

ومسئولية الإدارة فى مواجهة التحديات والمتغيرات تتمثل فى وظائفها ومهامها الرئيسية التى من أهمها: وظيفة التخطيط التى تتعلق بتحقيق الأهداف والسياسات والبرامج وطرق التنفيذ؛ ووظيفة التنظيم التى تتعلق بتحديد الاختصاصات والعلاقات لتحقيق الأهداف؛ ووظيفة التحليل التى تتعلق بتقويم العمليات المساعدة المتداخلة؛ ووظيفة التحكم التى تتعلق بتحقيق الأهداف بكفاءة وفعالية على المستوى الكلى والجزئى. وبهذه الوظائف تكمل دورة العملية الإدارية كمنظومة تعتمد على المعلومات الدقيقة المرتدة.

ولكى تستطيع الإدارة القيام بوظائفها ومهامها، وتتصرف التصرف الإدارى الملائم وفى الوقت المناسب إزاء المتغيرات، سواء كان ذلك فى المدخلات أو التحويلات أو المخرجات، والتى تحكمها ظروف البيئة المحيطة داخليًا وخارجيًا، فإنه من الضرورى التسلح بالعلوم والفنون التكنولوجية، بالإضافة إلى المهارات الفنية والإدارية والإنسانية.

منهجية نمذجة الإدارة:

نمذجة الإدارة (Modelling Management) ما هى إلا تعبير تحليلى، وترجمة رياضية للعلاقات بين المتغيرات الممكن وغير الممكن التحكم فيها، والعوامل ذات الدوال الثابتة، أو الدوال الاحتمالية، أو الدوال العشوائية، وذلك فى ظل مجموعة من القيود التى

يخضع لها النموذج الرياضى، والتى تحد من الخيارات الممكنة لمنظومات التشغيل، حتى يمكن معالجة النموذج نظريًا. والحصول على معالجة واقعية ـ وهى التى ليست إلا صورة حية للواقع العملى ـ يتطلب بناء نموذج رياضى. وتتميز هذه النماذج بعدة خصائص رئيسية نسرد بعضًا منها على النحو التالى:

* نموذج يمثل واقع منظومة التشغيل بأقصى دقة ممكنة، وهذا لا يعنى التطابق التام للواقع فى كل تفصيلاته، لأن ذلك يحتاج لصياغته إلى جهد كبير ووقت طويل.

* نموذج يتميز بمقدرته على إيجاد الحلول الممكنة بطريقة صحيحة.

* نموذج يحوى أقل قدر ممكن من الفروض والشروط، مع بساطته ليصبح سهل الفهم.

* نموذج يتميز بمرونة حتى يكون قابلاً ـ بطريقة فعالة ـ للتعديلات عند الضرورة.

* نموذج يكون قادرًا على تحديد العوامل التى تؤثر فى صنع القرار.

* نموذج يكون حساسًا للتغيرات التى قد تطرأ على البيانات.

فالنموذج المناسب هو الذى يطابق الواقع أو يكون قريبًا منه، والذى يمثل خصائص المنظومة.

وتُعَدّ النماذج الرياضية من أكثر النماذج تجريدًا (Abstraction) للواقع العملى. وبالرغم من ذلك، فإن تطبيقات النماذج الرياضية تتميز بصفات يمكن سرد بعضها على النحو التالى:

* استخدام النماذج الرياضية يؤكد الاعتقاد بالفوائد المنهجية العلمية المنطقية والمنظمة فى دعم عملية صنع القرار.

* استخدام النماذج الرياضية يُسهل عملية المعالجة النظرية والعملية، ويساعد فى الإختبارات العلمية، وأساليب التنبؤ، وعمليات التقويم.

* استخدام النماذج الرياضية يساعد فى تحليل البيانات بطريقة سلسة، وبالتالى التأكيد على الحصول على نفس النتائج حتى مع اختلاف الوقت والقائم بالدراسة.

* استخدام النماذج الرياضية يعتمد على معايير اقتصادية فعالة، حيث يقارن العديد من الخطوات الممكنة بناء على عدة قياسات اقتصادية مثل تكلفة التشغيل، والعائد على الاستثمار، ومعدل النمو.

* استخدام النماذج الرياضية يعتمد على الحاسبات الآلية، نظراً للعلاقات المعقدة والمتشابكة بين العوامل من متغيرات وثوابت، والكم الهائل من البيانات التى تتطلب الكثير من العمليات الحسابية المضنية.

* استخدام النماذج الرياضية يُسهل إجراء الإختبارات العلمية والتحليلات الرياضية بأقل تكلفة، كما يوفر قدراً كبيراً من الوقت.

* استخدام النماذج الرياضية يُولِّد عدداً كبيراً من الحلول والبدائل الممكنة، ويقيم هذه البدائل لاختيار الحلول المثلى بأسرع وقت.

* استخدام النماذج الرياضية يساعد فى حساب درجة المخاطر فى كثير من القرارات المتعلقة بمنظومات متضمنة حالات مخاطرة.

ويحدث أحياناً قصور فى النماذج الرياضية، نظراً لتباين المشكلات وتعقدها وديناميكيتها. ويمكن سرد بعض نواحى هذا القصور على النحو التالى:

* حدوث قصور فى بعض العناصر الاقتصادية، فمن غير الممكن تحمل نفقات باهظة لمعالجة المشكلة أكثر من الممكن توفيره من جراء اتخاذ القرار الناتج عن هذا النموذج.

* حدوث قصور فى بعض العناصر الشخصية، فمن غير الممكن التحكم فى القرار التنفيذى لضمان عدم حدوث مخاطر نتيجة الحلول غير المثلى الناتجة من النموذج.

* حدوث قصور فى بعض العناصر الطبيعية، فمن غير الممكن بناء نموذج طبق الأصل للواقع العملى، نظراً لتعقد المشكلة وديناميكيتها، وكثرة متغيراتها، مما سيؤدى إلى نموذج غاية فى التعقيد والتشابك، بحيث لا يمكن حله، وبالتالى لا يمكن معالجة المشكلة.

ويُعَدّ النموذج الرياضى هيكلاً رياضيًا يوضح كيفية ربط عناصر المنظومة بمجموعة من العبارات والمعادلات والمتباينات، متضمنة متغيرات وثوابت، وفقًا لفروض وشروط ومتطلبات أى قيود على عملية التحويل، وذلك بغية الوصول إلى هدف معين، وهى على النحو التالى:

* تنوع سلوكيات النموذج الرياضى (Model Behaviors) للوصول إلى أهداف النموذج (Objective Functions) مثل تعظيم الأرباح أو تصغير التكلفة، وأهداف خاصة بعملائها. فالمستشفى مثلاً يهدف إلى العناية الفائقة بالمريض، والخفض الكبير فى تكلفة العملية العلاجية؛ والجامعة تهدف إلى تخريج طلبة ذات مستوى علمى جيد، بالإضافة

إلى تصغير تكلفة العملية التعليمية ؛ والمصنع يهدف إلى إرضاء عملائه بإنتاج سلعة ذات جودة عالية ، مع تعظيم أرباح العملية الإنتاجية . ومن الصعوبة بمكان تحقيق هدف موحد يحقق جميع أهداف المنظومة التى قد تكون متعارضة أو متناقضة ، حتى يمكن تحديد مقياس فعالية المنظومة .

* تنوع متغيرات النموذج الرياضى (Model Variables) فى النموذج الذى يُمثِّل منظومة التشغيل . وهذه المتغيرات نوعان : متغيرات يمكن التحكم فيها ، وأخرى لا يمكن التحكم فيها ، وهما على النحو التالى :

** متغيرات يمكن التحكم فيها (Controllable Variables) وهى تتميز بكونها قابلة للمعالجة والتحكم من قِبَل صانع القرار . والغرض الرئيسى للنموذج يتركز عادة فى إيجاد أفضل مستوى للمتغيرات التى تمثل نشاطًا من أنشطة المنظومة والتى تحقق الأهداف الموضوعة .

** متغيرات غير ممكن التحكم فيها (Uncontrollable Variables) . وهى تتأثر قيمتها بعناصر خارجة عن المنظومة كأسعار الخامات التى يتحكم فيها الموردون ، وأسعار السلع التى يتحكم فيها المنافسون . وقد تتأثر هذه المتغيرات بعناصر من المنظومة نفسها كطاقة الأجهزة ، ومحدودية الوقت ، ومحدودية الأموال المتوافرة لدى المنظومة .

* تنوع عوامل النموذج الرياضى (Model Parameters) فى النموذج الذى يُمثِّل منظومات التشغيل . وتنقسم هذه العوامل إلى ما هو على النحو التالى :

** عوامل على شكل ثوابت معلومة ومحدَّدة (Deterministic Parameters) ، يصير تحديدها بناء على خبرة القائمين على تشكيل النموذج .

** عوامل على شكل دوال احتمالية (Probabilistic Parameters) ، يصير تقديرها بطرق إحصائية مطلقة .

** عوامل على شكل دوال عشوائية (Stochastic Parameters) ، يصير تقديرها بطرق احتمالية مرتبطة بالوقت .

* تنوع قيود النموذج الرياضى (Model Constraints) ، إذ يخضع النموذج ـ عند اختيار الحل الأمثل ـ للعديد من القيود التى تَحُدُّ من الخيارات الممكنة ، للحصول على الحل الممكن تطبيقه عمليًا . فعلى سبيل المثال وليس الحصر ، هناك قيود على الطاقة

الإنتاجية فى المنظومة، أو قيود على التكنولوجيا المتبعة فى عمليات تحويل المدخلات، أو قيود المنافسة الخارجية. ولكل قيد من هذه القيود علاقة رياضية تخضع لقيمة ما مثل الطاقة الإنتاجية أو غيرها، سواء كانت أقل من أو تساوى (≤) أو تساوى فقط (=)، أو أكبر من أو تساوى (≥) هذه القيمة. وبالإضافة إلى هذه القيود، توجد قيود تتعلق بطبيعة المتغيرات الممكن وغير الممكن التحكم فيها. فإذا كانت متغيرات القرار تعبر عن كميات مثل أعداد، أو أوزان، أو أطوال، أو مساحات، أو حجوم، أو ما شابه ذلك، فمن الطبيعى أن يفرض اللاسلبية (Non-Negativity Constraints) على متغيرات القرار.

وتصاغ النماذج الرياضية فى بحوث العمليات بصفة عامة بتعظيم أو تصغير دالة الهدف، وفقًا للقيود الواقعية بالإضافة إلى قيود اللاسلبية. ويمكن صياغة النموذج رياضيًا على النحو التالى:

تعظيم أو تصغير دالة الهدف التى تقيس فعالية المنظومة قيد الدراسة

$$Z = f\,(c_jX_j\ ,\ c_jY_j)$$

وفقًا للقيود الواقعية

$$f\,(a_{ij}X_j\ ,\ a_{ij}Y_j) \qquad (\leq, =, \geq)\ b_i$$

وقيود اللاسلبية

$$X_j\ ,\ Y_j \qquad \geq \quad 0$$

حيث:

Z قيمة فعالية المنظومة.

X_j مستوى المتغيرات j الممكن التحكم فيها.

Y_j مستوى المتغيرات j غير الممكن التحكم فيها.

c_j ربحية أو تكلفة المتغير X_j أو Y_j.

a_{ij} كمية استهلاك النشاط j من المورد i.

b_i كمية متاحة من المورد i.

ويراعى أن تعريف المتغيرات والعوامل يختلف بتغير الموقف العملى المطلوب تمثيله بالنموذج الرياضى الذى يبين العلاقة الكمية بين المدخلات والمخرجات.

وعملية تمثيل النموذج ما زالت غامضة (Model Representation is a mistry)، حيث إن عملية الابتكار غير مفهومة بعد؛ أما حل النموذج بأى أسلوب رياضى، فهو فن (Problem Solving is an art).

الباب الثانى
معالجة مشكلات التشغيل

الفصل الأول: تشخيص مشكلات التشغيل

الفصل الثانى: تشكيل منظومات التشغيل

الفصل الثالث: تمثيل نماذج التشغيل

الباب الثانى
معالجة مشكلات التشغيل

نظرة عميقة إلى سمات مشكلات التشغيل، تكشف عن قصور كبير فى أساليب تحليل ومعالجة المشكلات التى قد تظهر فى النشاطات الواقعية، لأن بعض المتخصصين فى بحوث العمليات يتصورون أنه يمكن معالجة المشكلة دون تشخيصها، للكشف عن مظاهر الخلل، ودراستها للتعرف على حدود المشكلة فى إطار البيئة المحيطة. ومن الأصوب استخدام الأساليب التحليلية فى دراسة ومعالجة المشكلات الواقعية، حتى يمكن السيطرة الكاملة على تشغيلها، والتحكم فى أدائها، والمراقبة لجودتها.

وقد أجريت منذ سنوات بحوث عديدة عن مدى تأثير الطبيعة البشرية فى معالجة المشكلات التى قد تحدث فى كثير من النشاطات. وخرجت عدد من الفلسفات فى هذا المجال، من أهمها ما ظهر منذ أوائل التسعينيات لمعالجة المشكلات، وهى تتضمن عدة خطوات أهمها: (1) تعريف المشكلة وتحديد إطارها، مع التعرف على العوامل والمتغيرات المؤثرة فى نظام التشغيل؛ (2) تعيين المعايير الرئيسية وتحديد الأهداف؛ (3) وضع المشكلة فى قالب منظومى، محددًا المدخلات والعمليات التحويلية والمخرجات؛ (4) ترجمة المدخلات والتحويلات والمخرجات إلى علاقات رياضية أو احتمالية أو عشوائية، وتشكيلها فى صورة نموذج رياضى؛ (5) محاكاة منظومة التشغيل كما فى الطبيعة، مُولِّدًا مجموعة من البدائل، نتيجة تباين قيم عوامل ومتغيرات المنظومة؛ (6) تقويم البدائل المختلفة، تمهيدًا لاختيار البديل الأمثل تبعًا للمعايير الموضوعة مسبقًا؛ (7) تطبيق البديل الأمثل على المشكلة الواقعية، مع دوام التحكم والمراقبة والمتابعة لمنظومة التشغيل. ويجدر بنا الإشارة إلى أنه من الأفضل صياغة المشكلة فى منظومة بدائية، ثم تطويرها تباعًا إلى أن تصل إلى منظومة ناضجة، عن عدم وجود منظومة مطلقًا.

هذا هو الأسلوب العلمي (Scientific Method) الذي يطبق عند معالجة أي مشكلة من المشكلات. وقد كان للعالم الرياضي الخوارزمي دور بارز في وضع وتطوير هذه الطريقة. وفي معرض الحديث عن الطريقة العلمية، فإنى أشبه الإدارة العليا ــ وهي الصانعة للقرار ــ بقائد العربة «الحنطور» الذى يمسك «باللجام»، ويحاول أن يحركه يمينًا ويسارًا، ويجذبه تارة ويرخيه تارة أخرى، محاولاً معالجة المواقف التى قد يتسبب فيها الحصان، من جراء سلوكه وتصرفاته فى أثناء سيره، وذلك للسيطرة على حركاته، والتحكم فى أدائه، ومعالجة هذه التصرفات بحكمة بالغة.

ويمكن تلخيص الطريقة العلمية بأسلوب منهجى يتضمن الخطوات التالية: التعرف على المشكلة (Problem Definition) من خلال تحديد إطارها، وتشخيصها (Problem Diagnosis) عن طريق تفهم مظاهر وأسباب الخلل بها؛ ثم صياغة هذه المشكلة (System Formulation) فى منظومة علمية، وتحليلها منطقيًا (System Analysis) بعد تحديد مدخلاتها ومخرجاتها وعمليات تحويل مقوماتها إلى نواتج ذات قيم مضافة؛ ثم تمثيل هذه المنظومة (Model Representation) بنموذج رياضى إن أمكن، ومحاولة إيجاد حل رياضى (Mathematical Solution) عن طريق تحديد متغيراته وثوابته وقيوده وأهدافه. فإذا تم إيجاد حل للنموذج الرياضى، فمن الضرورى اختباره (Model Testing) للتأكد من صلاحية الحل (Solution Validity)، تمهيدًا لتطبيقه (Model Implementation) بتصرف على المشكلة ذاتها، وتستمر المراجعة والمتابعة للتحقق من دقة الحلول المستنتجة من النموذج، بمقارنتها بملاحظات ميدانية عن سلوك أداء المشكلة، وهذا ما يعرف بالتغذية المرتدة (Feedback).

ومعالجة المشكلات تأخذ عدة اتجاهات فكرية منها: معالجة المشكلة على أساس تبسيط الواقع العملى لتناسب إحدى النماذج الرياضية النمطية المتوافرة، وفى ذلك فهى تعتمد على الأسلوب نفسه؛ أو معالجة المشكلة على أساس تقبُّل الواقع العملى، وفى ذلك فهى تعتمد على المشكلة ذاتها دون فرض شروط لتبسيط الواقع. ويمكن شرح الاتجاهين على النحو التالى:

معالجة المشكلة مستخدمًا الأسلوب (Technique-Oriented Approach). يؤهل هذا الاتجاه الفكرى باحثى نظم التشغيل ــ ذوى الخبرة والإلمام الكافى لنماذج وأساليب بحوث العمليات الرياضية ــ لوضع المشكلات العملية فى قالب نماذج بحوث عمليات

معينـة لا تتناسب بالضرورة مع احتياجات معالجة هذه المشكلات، أى تفصيل المشكلة لتناسب أحد النماذج الرياضية المتوافرة، تمهيدًا لحله بأحد الأساليب المعروفة. وهذا الاتجاه الفكرى يعانى من القصور والعيوب لأن النماذج الرياضية عادة ما تكون قاصرة عن أن تأخذ فى الحُسبان جميع وقائع وروافد المشكلة الواقعية، مما ينتج عنه أن هذا النموذج لا يمثل الواقع؛ فالفروض والشروط التى قد توضع لتبسيط الواقع، لملاءمته فى نموذج من نماذج بحوث العمليات المتوافرة، ينتج عنها – عند حله – حلول لمشكلة قد تكون بعيدة كل البعد عن المشكلة ذاتها.

معالجة المشكلة مستخدمًا الواقع (Problem-Oriented Approach). يؤهل هذا الاتجاه الفكرى باحثى نظم التشغيل لتحليل المشكلة بكل جوانبها من منظور المنظومات، مع عدم فرض شروط أو فروض لتلائم أسلوبًا رياضيًا معينًا، مع العلم بأن تشخيص المشكلة وتحليل الواقع قد يؤديان إلى صياغة منظومة ممثلة للمشكلة تمثيلاً دقيقًا؛ وقد يقود ذلك إلى حل مناسب دون اللجوء إلى استخدام أى أسلوب رياضى. ويحدث أحيانًا وجود عوامل طبيعية قد تجعل من غير الممكن تمثيل نموذج طبق الأصل للواقع، بسبب عدم إمكانية تقويم جميع المتغيرات، فتضيق عملية التمثيل على عدد معين من المتغيرات والقيود، وتزداد متطلبات النموذج من بيانات ومعلومات حسب مدى تعقد النموذج المطلوب الذى قد يرفع من تكلفة إيجاد حل للمشكلة، مما قد يؤدى إلى التخمين لبعض العلاقات بين العوامل والعناصر المختلفة.

والاتجاه الفكرى المفضل هو الأسلوب الواقعى، بالرغم من كبر حجم المشكلة، وتعقد المكونات، وتشابك العناصر، وذلك نظرًا للتطور الملحوظ فى مجال الحاسبات (Computer Technology) من زيادة سرعة التشغيل (Operating Speed)، وكبر حجم التخزين (Storing Size)، وتطور نظم المعلومات (Information Systems)، وتصميم النظم القائمة على المعرفة (Knowledge-Based Systems)، وطرق النظم الخبيرة (Expert Systems)، والذكاء الاصطناعى (Artificial Intelligence)، حيث ساهمت هذه الأساليب الحديثة مساهمة فعالة فى حل العديد من نماذج بحوث العمليات الكبيرة والمعقدة لتقترب كثيرًا من الواقع؛ كما تساهم فى إجراء تحليل الحساسية (Sensitivity Analysis) للتعرف على أكبر مدى لقيمة كل متغير، بحيث لا يهدم الحل الأمثل.

ويقدم هذا الباب فلسفة المؤلف فى معالجة مشكلات التشغيل، موضحًا إجراءات تشخيص المشكلة الواقعية، وإجراءات تشكيل المنظومة العلمية، وإجراءات تمثيل النموذج الرياضى، وهى على النحو التالى:

- تحليل النشاط لتشخيص **مشكلة**.

- صياغة **المشكلة** فى **منظومة**.

- تمثيل **المنظومة بنموذج**.

- حل **النموذج** بأسلوب رياضى.

وقد اخترنا مشكلة تشغيل معينة، وهى مصعد برج القاهرة، كمثال حى لتفهم واستيعاب مراحل معالجة المشكلة. وقد قمنا بتشخيص هذه المشكلة فى الفصل الأول، ثم صغناها فى منظومة تشغيل فى الفصل الثانى، ثم مثلناها بنموذج تشغيل فى الفصل الثالث، حتى يمكن للقارئ أن يستوعب ويتفهم أسلوب معالجة مشكلات التشغيل.

الفصل الأول: تشخيص مشكلات التشغيل

المشكلة تعنى حدوث خلل طارئ فى تشغيل نشاط ما، لذا وجب تشخيصه ومعرفة أسبابه تمهيداً لتلافيه حتى يعمل النشاط بطريقة طبيعية. والإحساس بوجود مشكلة ما فى نشاط معين يتولد عندما نجد أن تشغيل هذا النشاط يسير فعلاً بطريقة غير طبيعية، إذ قد توجد عقبات فى تشغيل النشاط بالصورة التى كانت مرسومة له، أو قد تظهر أخطاء محتملة نتيجة حدوث خلل فى إحدى المكونات، وذلك من خلال أجهزة الضبط والمتابعة التى توجه سير النشاط.

ومن المؤشرات والشواهد والمظاهر التى تشير إلى حدوث مشكلات واقعية فى أى نشاط تصنيعى أو خدمى، أو فى أى منظومة تشغيلية، ما هو على النحو التالى:

* بطء فى بعض عمليات النشاط.
* قلة أو كثرة القائمين على إنجاز مهمة معينة.
* تأخير فى إعداد أو استخدام بعض المعدات الجديدة.
* تذمر بعض العملاء، أو كثرة شكاوى الموردين.
* تدن كبير فى معنويات العاملين.
* تضاؤل المنفعة كنقصان الربحية، أو زيادة الخسارة، أو انخفاض المبيعات.

وقد يكون السبب فى ذلك حدوث عقبة أو عقبات تحول دون تحقيق هدف معين، أو حدوث خلل أو عطب فى إحدى مكونات النشاط. ومن مظاهر تشخيص المشكلة (Problem Diagonosis): زيادة تكلفة الإنتاج، أو تراجع حجم المبيعات، أو كثرة شكاوى العملاء.

تشخيص مشكلة التشغيل:

النشاطات في الواقع العملي، تُمثِّل في حد ذاتها إما مشكلات ذات طبيعة مستقرة (Static in Nature)، أو مشكلات ذات طبيعة ديناميكية (Dynamic in Nature). وقلَّما تجد مشكلة ذات طبيعة مستقرة في الحياة العملية، لأن عوامل وعناصر المشكلة في تغير دائم. فلا يوجد عنصر في نشاط ما له صفة الثبات والدوام. ويعني ذلك أن محاولة إيجاد حل من الحلول إنما يُمثِّل حالة معينة في وقت معين للمشكلة.

فالمشكلة الزراعية مثلاً تجمع عدة عناصر ديناميكية تتغير بتغير كثير من العوامل كنوعية البذرة، ونوعية التربة، وعناصر المياه، وطريقة الرى، وكمية المياه، وفترات الرى، وتقلبات الطقس من حرارة وبرودة ورطوبة ورياح وأمطار وعواصف، فكل ذلك يؤثر على المحصول كمّاً وكيفًا، لأن جميع هذه العناصر لا يمكن تثبيتها في الطبيعة. وإذا نقلنا هذه المشكلة إلى المعمل لإجراء بعض التجارب اللازمة، فنحن في هذه الحالة نعالج مشكلة أخرى خرجت عن طبيعة المشكلة الديناميكية.

والمشكلات تختلف اختلافًا كبيرًا في درجة تعقدها (Degree of Complexity)، ونوعية مجالاتها (Nature of Scope)، لذلك فمن الصعب التمييز بين المشكلات العرضية والمستديمة، وبالتالي فإنه يصعب تحديد طريقة معينة لتشخيص المشكلة. وبالرغم من ذلك، فالخطوات الرئيسية في معالجة أي مشكلة تُعَدّ متشابهة. وتبدأ الخطوة الأولى بتحديد مدى الانحراف الحالي أو المتوقع من الوضع النمطي. ويعتمد هذا على خبرة المتخصص في هذا المجال، إذ يمكنه تطبيق خبرته في حالات مشابهة. أما المتخصص قليل الخبرة، فهو يرتكن إلى البيانات الخاصة بالواقع، مع بعض النمطيات أو الأماميات العامة. وعند تشخيص المشكلة، توضع الأولويات لتمييز العوامل المؤثرة في الانحرافات.

ويتم دراسة طبيعة ودرجة الانحراف في التشغيل للتعرف على الأسباب التي أدت إلى ذلك، والتعمق في وصف وتحليل الانحراف يساعد في تحديد الأسباب المحتملة (Hypothetical Reasons)، ثم اختيار هذه الأسباب للتعرف على السبب الرئيسي في هذا الانحراف. والسبب المحتمل أو مجموعة الأسباب المحتملة هي التي تمدنا بشرح واف للانحراف. ومن المؤسف أن بعض المتخصصين ذوي الخبرة القصيرة، لا يأخذون الوقت الكافي للتأكد من الأسباب الحقيقية للمشكلة، بل ينظرون سطحيًا إلى المشكلة، ثم يسارعون إلى اتخاذ قرار معين، وكثيراً ما يتسرعون إلى معالجة مشكلة لو تفحَّصوها

وعرّفوها، لما وجدوا أى مشكلة بالمرة !! ويمكن تعريف عملية تشخيص المشكلة على النحو التالى :

«تشخيص المشكلة الناشئة فى نشاط قائم، بحيث يكون مُعبراً عن جوهر النشاط قيد الدراسة، موضحًا إطار وحدود وطبيعة وأسباب المشكلة، مستخلصًا الأعطاب المحتملة، محللاً مظاهر الخلل الناتج فى مكونات هذا النشاط، وذلك فى إطار البيئة المحيطة».

وبالرغم من أن المشكلات الواقعية غالبًا ما تكون معقدة، إلا أن درجة التعقيد لا تمت للمشكلة التى تحت الدراسة بصلة فى معظم الأحيان.

تشخيص مشكلة المصعد:

فى مبنى برج القاهرة بالجزيرة ـ الذى يعلو حوالى 187 متراً على سطح الأرض، ويتكون سلمه من 1,000 درجة ـ مصعد رئيسى يحمل الزائرين إلى الطابق الأخير لمشاهدة معالم القاهرة بالتيليسكوبات المثبته دائريّا حول مبنى البرج. كما يمكن للزائرين الصعود إلى الطابق قبل الأخير، حيث يوجد مطعم دائرى أنيق يستغرق دورانه 30 دقيقة فى كل دورة، يجلس فيه الزائرون لتناول الطعام وهم يشاهدون مناظر القاهرة الخلابة. ويستغرق صعود المصعد إلى الطابق قبل الأخير حوالى 42 ثانية، وإلى الطابق الأخير حوالى 45 ثانية، أى بواقع 4 متر تقريبًا فى الثانية، مع ملاحظة وقت وقوف المصعد وخروج بعض الزائرين بالطابق قبل الأخير قبل التحرك إلى الطابق الأخير. ولما كان الزائرون يفدون إلى البرج فرادى أو جماعات. فقد نظم مسئول المصعد عملية تشغيله، بدلاً من خدمة كل زائر أو أكثر على حدة، فهو يبدأ الخدمة بفتح باب المصعد تأهبًا للصعود إلى الطابق الأخير أو الطابق قبل الأخير، عندما يصل عدد الزائرين المنتظرين إلى عشرين فرداً، ونظراً لطول انتظار الزائرين أمام المصعد إلى أن تكتمل المجموعة، فقد تعددت الشكاوى من مستوى الخدمة عامة، وطول الانتظار خاصة.

ولما كان الزائرون لا يفدون بمعدل ثابت، بل يصلون عشوائيّا، فإن فترة انتظارهم قد تطول أو تقصر، تبعًا للوقت الذى تصل فيه المجموعة إلى عشرين فرداً. وقد استدعت إدارة البرج أحد باحثى العمليات لدراسة المشكلة، وتقديم خطط ممكنة لتشغيل المصعد بفاعلية وكفاءة عالية، تمهيداً لاختيار الخطة الملائمة التى قد تؤدى ـ عند تطبيقها ـ إلى تحسين مستوى الأداء، مع مراعاة أن يكون مستوى تكلفة تقديم هذه الخدمة معقولاً.

الفصل الثانى: تشكيل منظومات التشغيل

المنظومة تعنى تركيبًا معينًا من أجزاء متعددة متشابكة ومتفاعلة بعضها مع بعض بطريقة غالبًا ما تكون معقدة، بحيث تشترك عدة عناصر أو أسباب تعطى نهاية أو نتيجة محدَّدة. ويمكن تفهم المنظومة بالتوصل إلى معرفة عناصر التشغيل المختلفة، ومعرفة تأثير كل منها على المحصلة النهائية. والمنظومة يمكن تعريفها على أنها مجموعة المقومات التى تتفاعل بعضها مع بعض، وتنتج عنصرًا أو أكثر كمخرج للمنظومة. ويمثل هذا المفهوم كون المدخلات فى المنظومة هى السبب، والمخرجات هى النتيجة. ويمكن صياغة المشكلة ـ بعد تشخيصها والتعرف على مواطنها ـ صياغة علمية فى منظومة لتحديد مختلف العناصر تحديدًا دقيقًا بغية استخدام هذه العناصر فى توصيف المنظومة.

تشكيل منظومة التشغيل:

النشاطات فى الواقع العملى تمثل فى حد ذاتها إما مشكلات ذات هيكلة ممكنة (Well-Structured Problems)، فيسهل صياغة هذا النوع من المشكلات فى منظومة إنتاجيةً محدَّدة عناصرها ومكوناتها، أو مشكلات ذات هيكلة غير ممكنة (Ill-Structured Problems)، فيندر أو يصعب صياغة هذا النوع من المشكلات فى منظومة إنتاجية غير محدَّدة عناصرها ومكوناتها.

ومما هو جدير بالذكر، فإن التطور المرتقب فى منظومات الذكاء الاصطناعى، مع التطور الملحوظ فى علوم الحاسب، وزيادة القدرات الحسابية الهائلة من حيث السعة والسرعة، سيُمكِّن من معالجة المشكلات الواقعية ذات الهيكلة الصعبة، مع السماح بزيادة درجة تعقيد المنظومات وحجومها. كما أتوقع أن الأعوام القليلة القادمة ستشهد نموًّا وتطورًا وتوسعًا فى تحليل المنظومات بهدف التمثيل الحقيقى للمشكلات الواقعية.

وتُمثِّل المنظومة الإنتاجية مفهومًا حديثًا يمكن بواسطته التعرف على المكونات الأساسية للعملية الإنتاجية، ودراسة علاقاتها الداخلية بباقى العناصر والمكونات. والمنظومة فى الواقع العملى، إما أن تكون منظومة مفتوحة (Open-Loop System) أو منظومة مغلقة (Closed-Loop System). وقد عولجت معضلة الإنتاج على أساس تصور معين هو أن أى مركز تصنيعى أو خدمى فى مجموعه يُعَدّ منظومة إنتاجية قائمة بذاتها. ومكونات المنظومة تشمل المدخلات والعمليات التحويلية والمخرجات. ويمكن تعريف عملية صياغة المنظومة على النحو التالى:

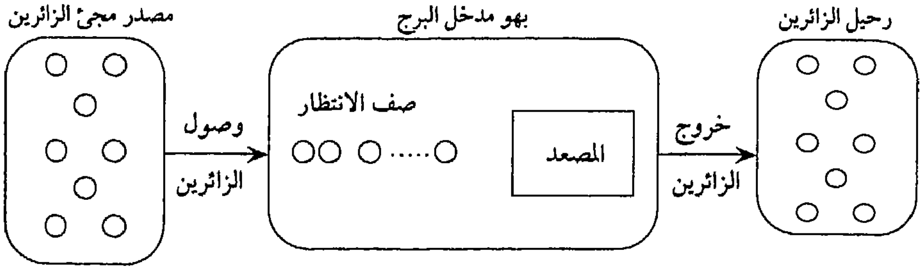
«تشكيل المنظومة الناشئة عن مشكلة قائمة، بحيث تكون معبرة عن جوهر المشكلة قيد المعالجة، موضحة مكونات وعناصر ومدخلات ومخرجات المنظومة، مستخلصة العلاج الفعال، محللة تفاعل المقومات المتداخلة فى نواتج هذه المنظومة، وذلك فى إطار البيئة المحيطة».

والمنظومات تكاد تكون السمة المميزة لجميع النشاطات فى أنحاء الكون.

تشكيل منظومة المصعد:

فى مبنى برج القاهرة بالجزيرة، يبحث المختصون عن منظومة ممثلة للمشكلة، للوصول إلى حل مناسب بحيث يوازن بين مستوى خدمة مقبولة للزائرين، ومستوى تكلفة معقولة لإدارة البرج، مع الأخذ فى الحُسبان أن الزائرين قادمون لتمضية وقت ممتع، فلا يجب إغضاب الزائرين لطول انتظارهم أمام المصعد، لذلك وجب إجراء استقصاء للمشكلة (Problem Investigation)، تمهيدًا لصياغتها فى منظومة علمية. والمنظومة ـ كما أسلفنا ـ هى مجموعة من المقومات أو المدخلات التى تتفاعل بعضها مع بعض، منتجة أو مخرجة عنصرًا أو أكثر كمخرجات للمنظومة.

وباستقصاء المشكلة يتبين أن الزائرين يتوافدون على البرج بطريقة عشوائية متغيرة بتغير الزمن، ويضطرون إلى الانتظار فى الصف لحين تجمع عشرين زائرًا، ثم يفتح مسئول المصعد الباب ليدخل الزائرون، وتبدأ الخدمة بصعود المصعد إلى طابق المطعم أو طابق المشاهدة، وتطول فترة ركوب المصعد أو تقصر حسب رغبة الزائرين، وعند فتح باب المصعد، تنتهى الخدمة برحيل الزائرين من المنظومة. وبهذا الاستقصاء يمكن صياغة منظومة صفوف الانتظار الموضحة فى الشكل رقم (01 - 2)، بحيث لا يتعدى إطار المنظومة حدود بهو مدخل البرج الذى يوجد به المصعد.



شكل رقم (01 - 2): منظومة صف الانتظار بمصعد البرج

وهذا الشكل يقدم وصفًا مبسطًا لمكونات منظومة صف الانتظار، حيث يمكن تحديد المدخلات والتحويلات والمخرجات على النحو التالى :

وصف مدخلات المنظومة. يتوافد الزائرون على مبنى البرج من مصدر لا نهائى (Infinite Input Source)، ويعنى ذلك أن أى مواطن أو سائح يأتى إلى البرج من أى مكان. ويصل الزائرون فرادى أو جماعات. ولتسهيل تحليل المنظومة سنَعُدّ هيئة الوصول (Arrival Pattern) على شكل فرادى. كما أن وقت الوصول(Arrival Time) الذى يصل فيه الزائر إلى البرج عشوائى (Random) أى أنه يتغير بتغير الزمن. فيتبع توزيعه احتمالية معينة فى وصف معدل وصول الزائرين، بمعنى عدد الزائرين الذين يفدون فى وقت معين، أو معدل الوقت الفاصل بين وصول زائرين متتابعين، بمعنى وقت ما بين دخول زائرين متوالين. كما سنفترض أن الزائر سيكون صبورًا (Patient)، بمعنى أنه سينتظر إلى أن يدخل المصعد لتلقى الخدمة.

وصف تحويلات المنظومة. ينتظر الزائرون فى بهو البرج ــ فور وصولهم ــ أمام المصعد فى صف واحد، منتظرين لحين اكتمال المجموعة المكونة من عشرين فردًا. وقد تطول فترة الانتظار للقادمين مبكرًا أى قبل تكوين الصف، أو قد يكون به عدد قليل جدًا من الزائرين، أو تقصر هذه الفترة للقادمين عند قرب اكتمال المجموعة. ويتبع وقت الانتظار توزيعة احتمالية معينة.

وعند اكتمال المجموعة أمام المصعد، يبدأ الزائرون فى تلقى الخدمة، أى ركوب المصعد، والصعود إلى طابق المطعم أو طابق المشاهدة حسب رغبة الزائر. ويمكن توصيف هذه الخدمة حسب قواعد معينة (Service Discipline)، فيتلقى الخدمة حسب الوصول. وشكل الخدمة (Service Mechanism) يكون على أساس خدمة الزائرين فى قناة واحدة

أى صف واحد للانتظار، ومرحلة واحدة أى مصعد واحد للخدمة، وهذا ما يعرف فى منظومات صفوف الانتظار بالمصطلح (Single Phase-single Channel). وبالطبع سيكون وقت خدمة الزائرين عشوائيًا (Random) أى أنه يتغير بتغير زمن الصعود حتى الطابق الأخير أو الطابق ما قبل الأخير. لذلك فإنه سيتبع توزيعة احتمالية معينة. أما هيئة الخدمة (Service Pattern)، فبالرغم من أن المصعد يخدم مجموعة من الزائرين فى وقت واحد، فإننا سنَعُدُّ كل شخص يتلقى خدمته بزمن يتغير حسب تركه للمصعد فى أى من الطابقين (Single Service).

وصف مخرجات المنظومة. يخرج الزائر من المصعد لصالة المطعم أو إلى طابق المشاهدة، وبذلك تنتهى الخدمة، ويرحل من المنظومة، كما يمكن تشكيل منظومة أخرى لنزول الزائرين.

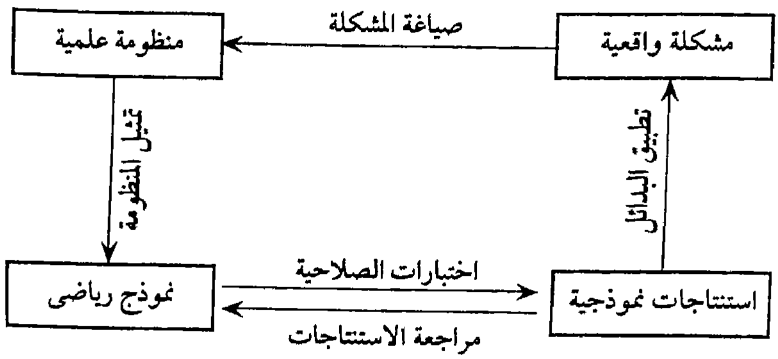
الفصل الثالث : تمثيل نماذج التشغيل

النموذج يعنى تمثيلاً مبسطًا للواقع، ويحاكى بدقة واقع التشغيل، ويشتمل على المكونات الرئيسية للمنظومة التى تصور المشكلة الحقيقية فى صورة مبسطة. وهو يعبر تعبيراً واضحًا عن خصائص تشغيل المنظومة، والعلاقات التى تربط عناصرها المختلفة، وكذا العلاقات التى تربطها بالبيئة المحيطة. والنماذج قد تكون ذات طبيعة وصفية مثل النماذج اللفظية والبيانية والرياضية ؛ وقد تكون وظيفية كالمجسمات المصغرة مثل نموذج الطائرة الذى يستخدم فى دراسة الدوامات الهوائية، أو النموذج الذى يحاكى الخلايا العصبية.

تمثيل نموذج التشغيل:

النشاطات فى الواقع العملى تُمثِّل فى حد ذاتها إما نماذج ذات طبيعة وصفية (Descriptive Nature) كالنماذج الرياضية التى تعبر عن منظومة معينة، وإما نماذج ذات طبيعة وظيفية (Functional Nature) كالنماذج المجسمة التى تصور منظومة معينة. ويبدأ تشكيل النموذج غالبًا ببعض الأفكار حول تكوين خصائص واقع ملموس. وعند تصميم النموذج المبدئى، يقارن بسلوك الواقع الحقيقى، وغالبًا ما ينتج عنه عدم مطابقة النموذج تمامًا للواقع، فتجرى عليه الاختبارات، ثم تتكرر التعديلات إلى أن نحصل فى النهاية على نموذج مقبول وملائم، أى أقرب إلى الواقع الحى. وفى الحقيقة أن النماذج لا تستخدم لوصف مجموعة من الأفكار فقط، بل تستخدم أيضًا فى التقويم والتنبؤ بسلوك المنظومة، كما تؤدى إلى التوصل لطرق تحسين الأداء فى مختلف المنظومات. وبهذا يمكن توفير جزء كبير من الجهد والوقت والمال، وكذا تجنب بعض أسباب الفشل الباهظة التكاليف، وإمكان الوصول إلى التصميم الأمثل دون الحاجة إلى بناء الواقع بحجمه الطبيعى.

ويلجأ الباحثون عادة إلى تطوير النماذج بصورة مستمرة لتمثيل واقع المنظومة الخاضعة للدراسة، بدلاً من التعامل مع الواقع مباشرة لعدة أسباب منها: توفير الوقت والتكلفة، وتفادى المخاطر والتلاعب بواقع المنظومة، والتخلص من التعقيدات والتفاصيل غير الضرورية لإجراء الدراسة. ويمكن تمثيل عملية النمذجة كما هو موضح فى الشكل رقم (02 - 2) الذى يتناول الانتقال من الواقع الحقيقى إلى المنظومة الإنتاجية إلى النموذج الرياضى الذى يتم تحليله بهدف التوصل إلى الاستنتاجات فى ضوء خصائص المنظومة العملية ليتم تطبيقها فى الواقع العملى.



شكل رقم (02 - 2): تمثيل عملية النمذجة الرياضية

ويمكن تعريف عملية تمثيل النموذج على النحو التالى:

«تمثيل النموذج الرياضى الناشئ عن منظومة قائمة، بحيث يكون مُعبراً عن جوهر المنظومة قيد التحليل، موضحًا متغيرات وثوابت وأهداف وقيود النموذج، مستخلصًا الحلول المقنعة، محللاً تأثير التغيير المحتمل فى ثوابت هذا النموذج، وذلك فى إطار البيئة المحيطة».

ويُعَدّ تمثيل المنظومة بنموذج رياضى عملية غامضة، أما حل النموذج نفسه فهو فن، مع توافر الأساليب الرياضية والحاسبات الآلية.

والنماذج عامة تمثّل إما تمثيلاً تقريبيًا لمنظومة معينة، حتى يمكن حله بإحدى الأساليب الرياضية المتوافرة، وفى ذلك يمكن الحصول على الحل الأمثل لهذا النموذج التقريبى وليس للمنظومة الواقعية؛ وإما تمثيلاً حقيقيًا لمنظومة علمية، فيصعب حله بالأساليب

الرياضية التقليدية، فيضطر إلى اللجوء إلى أسلوب المحاكاة (Simulation Approach)، وبذلك نحصل على حل تقريبي للنموذج، وبالتالي للمشكلة.

تمثيل نموذج المصعد:

فى مبنى برج القاهرة بالجزيرة، يمثل باحث العمليات منظومة مصعد البرج التى تم توصيفها فى الفصل السابق بنموذج صف الانتظار الذى يصف منظومة المصعد ابتداءً من عملية وصول الزائرين إلى بهو البرج، والوقوف أمام المصعد فى صف الانتظار حتى يتلقى الخدمة بركوب المصعد، ثم يرحل من المنظومة بخروجه من المصعد.

ويتكون نموذج صف الانتظار من توقيت عملية وصول الزائرين إلى بهو المصعد، بالإضافة إلى وقت الخدمة بالمصعد. ولما كان الزائرون يتولدون من مجتمع كبير، فعادة ما تكون توقيتات الوصول والخدمة عشوائية، وتخضع فى تغيرها لدالة توزيع الاحتمالات. ولما كان هدف النموذج هو تحقيق مستوى مناسب من الخدمة مقابل مستوى معقول من تكلفة تقديم هذه الخدمة، فإنه يمكن تكوين علاقة رياضية عن طريق بناء معادلات تفاضلية ـ تفارقية(Differential-Difference Equations)، لحساب المتغير فى حالة المنظومة بين فترة وأخرى. ويتم بناء هذه المعادلات على أسس عملية الولادة والوفاة (Birth-and-Death Process)، مشيراً إلى عملية الوصول إلى المنظومة بعملية الولادة، وعملية المغادرة من المنظومة بعملية الوفاة. وهذه العملية عبارة عن سلسلة ماركوف (Markovian Chain) ذات المتغير العشوائى المستمر الذى يحدث فيها تغيير من حالة إلى حالة مجاورة فقط، أى أن هذه السلسلة لها خاصية نسيان ما حدث فى الماضى (Forgetfullness Property)، وتحديد احتمال حدوث المستقبل على أساس ما يحدث فى الحاضر فقط.

ويتم بناء النموذج العشوائى بتشريح المنظومة على أساس ما قد يحدث خلال فترة زمنية قصيرة جداً من وصول إلى/ ومغادرة من المنظومة. وعلى ذلك فإن التوزيعات الاحتمالية التى تحكم عدد القادمين والمغادرين فى فترة زمنية معينة تعتمد على طول هذه الفترة وليس على نقطة بدايتها، وهى على النحو التالى:

* احتمال وصول زائر واحد بالضبط فى فترة زمنية قصيرة جداً طولها Δt من مجتمع حجمه n فى بداية الفترة هو $\lambda_n \Delta t + 0 \Delta t$ حيث أن λ_n يكون ثابتاً وهو معدل الوصول، وربما يختلف باختلاف قيم n، وأن $0 \Delta t$ مقدار مهمل فى الفترة Δt.

* احتمال مغادرة زائر واحد بالضبط فى فترة زمنية قصيرة جداً طولها Δt من مجتمع حجمه n فى بداية الفترة هو $\mu_n \Delta t + 0\Delta t$ حيث أن μ_n يكون ثابتًا وهو معدل الخدمة، وربما يختلف باختلاف قيم n، وأن $0\Delta t$ مقدار مهمل فى الفترة Δt.

* احتمال وصول أو مغادرة أكثر من زائر فى فترة زمنية قصيرة جداً طولها Δt من مجتمع حجمه n فى بداية الفترة هو $0\Delta t$، وهو مقدار مهمل فى الفترة Δt، حيث إن الفترة قصيرة جداً لا تسمح بدخول أو خروج أكثر من زائر واحد.

* احتمال عدم وصول أو عدم مغادرة زائر فى فترة زمنية قصيرة جداً طولها Δt من مجتمع حجمه n هو $1-\lambda_n \Delta t - \mu_n \Delta t + 0\Delta t$ ، أى $(1-\lambda_n \Delta t)(1-\mu_n \Delta t)$ حيث إن λ_n و μ_n يكونان ثابتين، وربما يختلفان باختلاف قيم n، وأن $0\Delta t$ مقدار مهمل فى الفترة Δt.

وإذا فرضنا أن المنظومة قد تبدأ بوجود عدد معين من الزائرين فى اللحظة t، فيمكن حساب احتمال وصول أو مغادرة زائر فى فترة زمنية محددة Δt، بحيث يصبح فى المنظومة n زائر فى اللحظة $t + \Delta t$، وذلك بحدوث أى من أربعة الاحتمالات التالية :

* احتمال وجود n زائر فى المنظومة فى اللحظة $t + \Delta t$، عندما كان $n - 1$ زائر فى اللحظة t، ووصول زائر واحد، وعدم مغادرة أحد المنظومة هو :

$$P_{n-1}(t)(\lambda_{n-1}\Delta t)$$

أو

* احتمال وجود n زائر فى المنظومة فى اللحظة $t + \Delta t$، عندما كان $n + 1$ زائر فى اللحظة t، وعدم وصول أى زائر، مع مغادرة زائر واحد المنظومة هو :

$$P_{n+1}(t)(\mu_{n+1}\Delta t)$$

أو

* احتمال وجود n زائر فى المنظومة فى اللحظة $t + \Delta t$، عندما كان n زائر فى اللحظة t، وعدم وصول أو مغادرة زائر واحد المنظومة هو :

$$P_n(t)(1 - \lambda_n \Delta t)(1 - \mu_n \Delta t)$$

أو

* احتمال وجود n زائر فى المنظومة فى اللحظة $t + \Delta t$، عندما كان n زائر فى اللحظة t، ووصول زائر واحد، مع مغادرة زائر واحد المنظومة هو:

$$P_n (t) (\lambda_n \Delta t) (\mu_n \Delta t)$$

ونظرًا لكون هذه الاحتمالات الأربعة السابق ذكرها مستقلة بعضها عن بعض (Mutually Exclusive Probabilities)، تصبح القيمة الاحتمالية لمنظومة بها n زائر فى اللحظة $t + \Delta t$ هو حاصل جمع هذه الاحتمالات، كما هو على النحو التالى:

$$P_n (t + \Delta t) = P_{n-1}(t) (\lambda_{n-1} \Delta t) + P_{n+1} (\mu_{n+1} \Delta t) +$$

$$P_n (t) (1 - \lambda_n \Delta t) (1 - \mu_n \Delta t) +$$

$$P_n (t) (\lambda_n \Delta t) (\mu_n \Delta t), \qquad n = 1,2, ...$$

وإذا فرضنا أن المنظومة قد تبدأ بوجود عدد معين من الزائرين فى اللحظة t، يمكن حساب احتمال وصول أو مغادرة زائر فى فترة زمنية محددة Δt، بحيث لا يكون فى المنظومة أى زائر فى اللحظة $t + \Delta t$، وذلك بحدوث أى من الاحتمالين التاليين:

* احتمال عدم وجود أى زائر فى المنظومة فى اللحظة $t + \Delta t$، عند عدم وجود، أو عدم وصول، أو عدم مغادرة أى زائر فى اللحظة t (احتمال عدم مغادرة زائر المنظومة يساوى الواحد الصحيح لأن المنظومة خالية بالتأكيد) هو:

$$P_0 (t) (1 - \lambda_0 \Delta t) (1)$$

أو

* احتمال عدم وجود أى زائر فى المنظومة فى اللحظة $t+ \Delta t$، عند عدم وجود، أو عدم وصول زائر واحد فى اللحظة t، مع مغادرة الزائر الذى كان موجودًا من قبل هو:

$$P_1 (t) (1 - \lambda_1 \Delta t) (\mu_1 \Delta t)$$

ونظرًا لكون هذين الاحتمالين السابق ذكرهما مستقلين بعضهما عن بعض

(Mutually Exclusive Probabilities)، تصبح القيمة الاحتمالية لمنظومة خالية من زائرين فى اللحظة t + Δt هو حاصل جمع هذين الاحتمالين، كما هو على النحو التالى :

$$P_o (t + \Delta t) = P_o (t) \ (1 - \lambda_o \Delta t) (1) + P_o (t) (1 - \lambda_o \Delta t) (\mu_1 \Delta t)$$

فإذا تمت تصفية المعادلتين سالفتى الذكر، مع مراعاة أن كل مقدار يحوى مضاعف 0Δt، يصبح 0Δt، لأنه مقدار صغير جدًا للمقدار Δt، ودمج جميع المقادير 0Δt فى مقدار واحد هو 0Δt، تصبح المعادلتين على النحو التالى :

$$P_n (t + \Delta t) = P_n \ (t) \ (1 - \lambda_n \Delta t - \mu_n \Delta t) + P_{n+1} (\mu_{n+1} \Delta t) +$$

$$P_{n-1} (t) \ (\lambda_{n-1} \Delta t) \ + 0\Delta t \ , \qquad n = 1,2, ..$$

$$P_o (t + \Delta t) = P_o \ (t) \ (1 - \lambda_o \Delta t) + P_1(t) (\mu_1 \Delta t) + 0\Delta t$$

ويفرض أن المنظومة تصبح فى حالة استقرار (Steady State) بعد مرور فترة انتقالية (Transition Period)، يمكن الحصول على مجموعة معادلات بعد إجراء بعض التصفيات البسيطة، وأخذ النهاية عندما تسعى Δt إلى الصفر، وتصبح المعادلات غير خاضعة للوقت كما هو على النحو التالى :

$$0 = - \ (\lambda_n + \mu_n) P_n + \lambda_{n-1} P_{n-1} + \mu_{n+1} \ P_{n-1} \qquad n = 1,2, ..$$

$$0 = - \quad \lambda_o P_o + \mu_1 \ P_1$$

وتعنى مجموعة المعادلات السالفة الذكر فى حالة $n \geq 1$ أن احتمال وجود n زائر فى المنظومة عبارة عن احتمال وجود n-1 زائر فى المنظومة مع وصول زائر واحد، واحتمال وجود n + 1 زائر مع مغادرة زائر واحد، واحتمال وجود n زائر بدون وصول أو مغادرة أى زائر. أما المعادلة فى حالة n = 0 فهى عبارة عن احتمال عدم وجود أحد فى المنظومة مع عدم وصول أحد أيضًا، واحتمال وجود زائر واحد ومغادرة هذا الزائر.

هذا هو النموذج الرياضى الذى يمثل منظومة صف الانتظار أمام مصعد برج القاهرة. ويتضح من فصول هذا الباب، أنه قد تم تشخيص مشكلة واقعية، ثم صياغتها فى منظومة علمية، ثم تمثيلها بنموذج رياضى. وعند حل هذا النموذج ــ الذى يمثل العلاقة الرياضية بين الوصول والخدمة والمغادرة للزائرين ــ فإنه يمكن استخلاص عدة معايير يتم تقويمها لقياس مستوى أداء أو فعالية المنظومة، وهى موضحة فى الفصل الثانى من الباب الخامس.

الباب الثالث
إدارة منظومات التشغيل

الفصل الأول: تحديد نشاطات المنظومة
الفصل الثانى : تشغيل عمليات المنظومة
الفصل الثالث : تدعيم قرارات المنظومة

الباب الثالث
إدارة منظومات التشغيل

نظرة عميقة إلى سمات منظومات التشغيل، تكشف عن قصور كبير في أساليب تصميم وإدارة المنظومات التي تمثل المشكلات الواقعية، لأن بعض المتخصصين فى بحوث العمليات يفضلون تمثيل المشكلة بنموذج رياضي مباشرة، دون صياغة هذه المشكلة فى منظومة علمية، للتعرف على مكونات وعناصر المشكلة، والكشف عن مدخلات ومخرجات المنظومة فى إطار البيئة المحيطة. ومن الأصوب استخدام الأساليب التحليلية فى تصميم وإدارة المنظومات العلمية، حتى يمكن التعريف الكامل لمكوناتها وعناصرها، والتحديد التام لعواملها ومتغيراتها المؤثرة فى صياغتها.

وقد أصبحت المنظومات مطالبة لمواكبة المتغيرات بتطوير إدارتها، حتى تتسم بقدرات عالية على التصور والمبادأة والابتكار، وفهم عميق لصياغة المنظومات، وزيادة الاهتمام بالجانب المهارى للإنسان، ودراسة الوسائل العلمية التى تعتمد على هذه المعارف والمهارات، ومنها: (1) الفهم الدقيق للعلوم الرياضية والاحصائية؛ (2) المهارة فى تداول المعلومات من تخزين واسترجاع وتحليل؛ (3) الاستخدام الأمثل للنماذج الرياضية، بغرض التنبؤ بسلوك المنظومات؛ (4) التطبيق الكامل للمبادئ العلمية بغرض الوصول إلى التصميم الأمثل للمنظومات، السريع فى الفهم، البسيط فى التنفيذ، المنخفض في التكاليف، السهل فى الصيانة؛ (5) الاستيعاب الكامل لأساليب الإدارة العلمية، آخذاً فى الاعتبار الجوانب الاقتصادية والاجتماعية، لتدعيم صنع القرارات الرشيدة فى معالجة المشكلات؛ (6) المعرفة العميقة بأساليب العلاقات الإنسانية، للتحكم فى استخدام الموارد البشرية بفاعلية وكفاءة عالية؛ (7) المهارة الفائقة فى التعبير عن التخيلات والتصورات؛ والقدرة العالية فى التحكم فى الاتصالات والحاسبات عن طريق مختلف الوسائل بغية الوصول إلى الأهداف؛ (8) التوسع المناسب فى مجالات المعرفة لمجابهة الطلب المتزايد على الأعمال التى تتطلب دراسات بينية فى مختلف المجالات.

والتحليل الوظيفى للمنظومات الذى يستند على وسائل فاعلية، يوضح مدى تزايد الاهتمام الكامل بالمعلوماتية التى تستند على معارف علمية، واعتماد تطوير الإدارة على قاعدة معرفية وعلمية تتناسب مع التطور المذهل الذى حدث فى الحاسبات والاتصالات والبرمجيات. وتتميز الإدارة العلمية الواعية بكثير من السمات، نذكر منها ما هو على النحو التالى:

* إدارة علمية قادرة على المبادأة والابتكار والتصور واستقلالية الفكر.

* إدارة علمية قادرة على الاستخدام الأمثل للمعلومات، فهى إدارة معلومات، وليست إدارة مهمات.

* إدارة علمية قادرة على تقبل التغيير واستيعابه، والإسهام فى إحداثه.

* إدارة علمية قادرة على التعامل مع أدوات العصر ووسائله برشد وفاعلية.

* إدارة علمية قادرة على صنع القرار الرشيد لمعالجة المشكلات.

* إدارة علمية قادرة على إتيان الحل العملى لتصحيح المسار فى أسرع وقت ممكن.

* إدارة علمية مؤمنة بأنه لا يوجد حل واحد لأى مشكلة من المشكلات، فكل حل له ما هو أفضل منه.

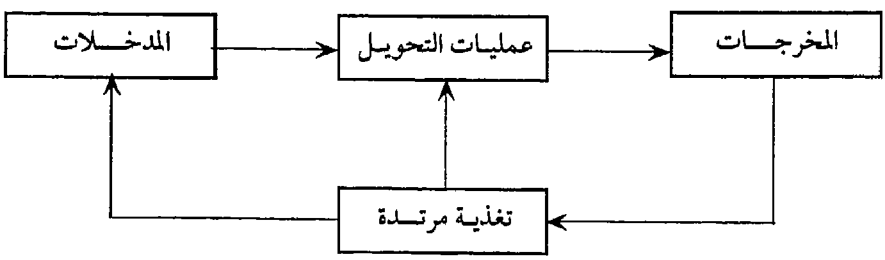
ونستعرض فى هذا الباب آراء المؤلف فى إدارة منظومات التشغيل، موضحًا تحديد نشاطات المنظومة، وتشغيل عمليات المنظومة، وتدعيم قرارات المنظومة. وقد اخترنا أمثلة حية للمنظومات التصنيعية والخدمية حتى يسهل معالجتها؛ وقدمنا وظائف ومهام المنظومات الإنتاجية عامة حتى يسهل إدارتها؛ وبيَّنا اتخاذ القرارات فى الحالات المؤكدة، والحالات الاحتمالية، والحالات غير المؤكدة مدعمة بأمثلة عملية، وكذا أنماط القرارات من تخليقية، وتحليلية، وواقعية، موضحة بأمثلة بدهية، حتى يسهل تدعيمها.

الفصل الأول: تحديد نشاطات المنظومة

المنظومة هى كيان مُوحد يضم مجموعة من العناصر أو المكونات التى تتفاعل بعضها مع بعض لتنفيذ مخطط محدَّد، بغية الوصول إلى أهداف فردية أو مركبة. وقد تطور مفهوم المنظومات وتطبيق عناصرها أو مكوناتها بعد الثورة التكنولوجية التى أعقبت الحرب العالمية الثانية، إذ تعقدت هذه العناصر وتعمقت هذه المفاهيم، لتصبح أكثر انسجامًا مع المناهج العلمية المتطورة.

طبيعة نشاطات المنظومة:

التعريف السابق يوضح أن للمنظومة عناصر معينة وأهدافا محددة، وهى تتكون من مدخلات، وعمليات تحويلية، ومخرجات. فإذا عَدَدْنا أن الإنسان منظومة فى حد ذاتها، فعناصرها الرئيسية تتكون من الهيكل العظمى، والشبكة العصبية، والأعضاء والجوارح، وغيرها. أما أهدافها الرئيسية فهى الاتزان البدنى والنفسى. والشكل رقم (01 - 3) يوضح الهيكل العام للمنظومة مبينًا المكونات والعناصر، وشاملاً التغذية المرتدة (Feedback) التى تعمل على التصحيح المستمر لشغل المنظومة.



شكل رقم (01 - 3): مكونات وعناصر المنظومات

ويتميز الهيكل العام للمنظومة بعدة عناصر يمكن شرحها على النحو التالى :

عنصر مدخلات المنظومة (System Inputs). وهى المقومات التى تدخل فى المنظومة ليُجرى عليها عملية تحويلية بأساليب محدَّدة، بغية الوصول إلى أهداف معينة. وتشمل المقومات فى أى منظومة إنتاجية على عمالة من حرفيين ومهنيين وإداريين؛ ومواد من خامات أولية، ومنتجات نصف مصنعة، ومستلزمات إنتاج؛ ومعدات من ماكينات وعدد وآلات؛ وأموال فى صيغة أصول، ومديونيات، ومساهمات، ونفقات. هذا بالإضافة إلى المرافق العامة، والطاقة الكهربائية، والمبانى والأراضى، والموارد الأخرى.

عنصر تحويلات المنظومة (System Transformation) . وهى العمليات التى تستخدم فى تحويل المقومات إلى نواتج ذات قيم مضافة (Value - added)، وذلك عن طريق استخدام تقنيات معينة سواء كانت ميكانيكية أو كهربائية أو إلكترونية أو كيميائية أو غيرها. وتشمل عمليات التحويل فى منظومة إنتاجية على تحويل المواد الأولية إلى سلعة معينة أو خدمة محدَّدة، مستخدمًا معدات وعمالة وغيرها من المدخلات، مراعيًا فى ذلك أن قيم السلع أو الخدمات المنتجة ذات قيم أعلى من تكاليف اقتناء وتشغيل المقومات. ويرمز إلى عمليات التحويل بالصندوق الأسود الذى يلحق بالطائرات للتعرف على أسباب الحوادث الجوية للطائرة.

عنصر مخرجات المنظومة (System Outputs). وهى النواتج التى تتشكل نتيجة إجراء عمليات تحويلية للمقومات، بشروط مسبقة، ومواصفات معينة، وحسب خطط موضوعة، وبغية الوصول إلى أهداف محدَّدة. وتشمل النواتج فى منظومة إنتاجية على منتجات نهائية من سلع معدة للتوزيع فى الأسواق، استجابة لرغبات وأذواق المستهلك، وكذا خدمات تُقدّم للجمهور لقضاء الحاجات.

عنصر إطار المنظومة (System Boundry). وهو الحدود التى تقع المنظومة بداخلها، حتى يمكن تحديد إطار المشكلة للتشخيص العلاجى، والدراسة العلمية، والتحليل الرياضى والإحصائى.

عنصر بيئة المنظومة (System Environment). وهى البيئة المحيطة بالمنظومة، إذ إنها ليست من مكونات أو عناصر المنظومة، بل لها تأثير محسوس على أسلوب أدائها، لتحقيق أهدافها. وتتميز عناصر البيئة المحيطة بأى منظومة بأمرين هما: إما أن تكون البيئة المحيطة بالمنظومة ذات تأثير مباشر على أهداف المنظومة؛ وإما أن يستحيل التحكم فى

البيئة المحيطة بالمنظومة ولا يمكن معالجتها . وعادة ما تخلق البيئة المحيطة بالمنظومة نوعًا من القيود الفعلية التي تجعل بعض الحلول غير ممكنة . فالقيود قد تكون قيودًا تكنولوجية وهي التي قد تحول دون الإنتاج بأسرع وقت ممكن وأقل تكلفة ممكنة ؛ أو قيودًا سياسية وهي التي قد تؤثر في عدم استيراد خامات بأقل سعر من دولة ممنوع التعامل معها ؛ أو قيودًا اقتصادية وهي التي قد تحول دون استمرار الإنتاج الضروري لعدم حدوث بطالة بين العمال ؛ أو قيودًا اجتماعية وهي التي قد تجعل من المحتم إنتاج منتج معين يتمشى مع أذواق المستهلك ؛ أو قيودًا قانونية وهي التي قد تتعلق بالتشريعات التي تحكم مختلف الأنشطة في الدولة ؛ أو قيودًا دينية وهي التي قد تحرم قتل الحيوان عند تصنيع اللحوم .

وتؤدي هذه القيود إلى تضييق فضاء الحلول الممكنة التي لا تتعارض معها (Feasible Solution Space) فتصبح الحلول غير الممكنة في الفراغ أو الفضاء (Non-Feasible Solution Space) غير مجدية ، لأنها تتعارض مع هذه القيود . كما يمكن البحث عن الحل الأمثل أو مجموعة الحلول المثلى (Optimal Solutions) في فراغ الحلول الممكنة . وتعتمد قدرة المنظومة على إمكانية تحقيق الأهداف في تصميمها ورقابتها . فتصميم المنظومة ما هو إلا تنظيم مسبق لمكوناتها ، فكلما يكون التصميم جيدًا ، تسهل عمليات صنع القرار في عمليات التحويل . كما أن رقابة المنظومة ما هي إلا ملاءمة الأنشطة مع الخطط والأهداف الموضوعة .

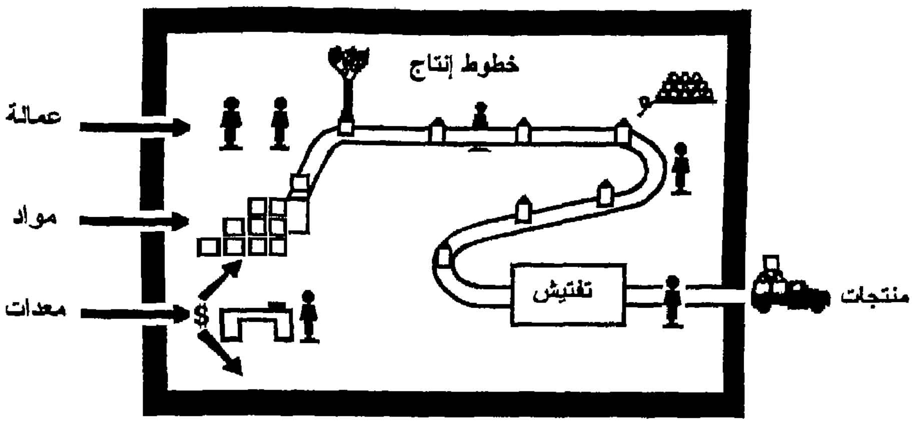
والمنظومات (Systems) ذات طبيعة متسلسلة هرميًا ، بمعنى أن كل منظومة رئيسية تشكل مجموعة من المنظومات الفرعية (Subsystems) التي بالتالي تُعَدّ مكونات أو عناصر للمنظومة الرئيسية . كما أن كل منظومة فرعية تشكل مجموعة من المنظومات الجزئية (Sub-Subsystems) . فإذا نظرنا إلى القطاع الاقتصادي في دولة ما كمنظومة رئيسية ، نجد أن المؤسسات الإنتاجية ما هي إلا منظومات فرعية ، وبالتالي فالإدارة الهندسية ، والإدارة المالية ، والإدارة التجارية ، والإدارة القانونية في المؤسسة الإنتاجية ما هي إلا منظومات جزئية لكل منظومة فرعية .

معالم نشاطات المنظومات:

من الجدير بالذكر ، أن أي نشاط يتم فيه تحويل مقومات ذات قيم معينة إلى نواتج ذات قيم مضافة ، يمكن صياغته في منظومة إنتاجية (Production System) تكون مدخلاتها في صورة مقومات إنتاجية ، ومخرجاتها في صورة نواتج مصنعة كالسلع ، أو مقدّمة

كالخدمات . لذلك فإنه يمكن تصنيف المنظومة الإنتاجية إلى منظومة تصنيعية أو منظومة خدمية، ويمكن تعريفهما على النحو التالى :

منظومة إنتاجية تصنيعية (Manufacturing System). تنتج المنظومة التصنيعية سلعًا ملموسة يمكن قياسها وتخزينها واستهلاكها فى أوقات لاحقة . فهى تقوم بتصنيع مقومات إنتاجية من مواد ومعدات وعمالة وطاقة وغيرها، إلى نواتج مُصنعة من سيارات وثلاجات وملابس وأغذية. والمنظومات التصنيعية تُصنَّف عادة على أساس إما تصنيع للتخزين (Make-to-Stock)، كالسلع المنزلية؛ وإما تصنيع حسب الطلب (Make-to-Order) كالمأكولات الطازجة . والشكل رقم (02 - 3) يوضح منظومة تصنيعية .



شكل رقم (02 - 3): منظومة إنتاجية تصنيعية

ويمكن تقديم بعض الأمثلة للمنظومات التصنيعية على النحو التالى :

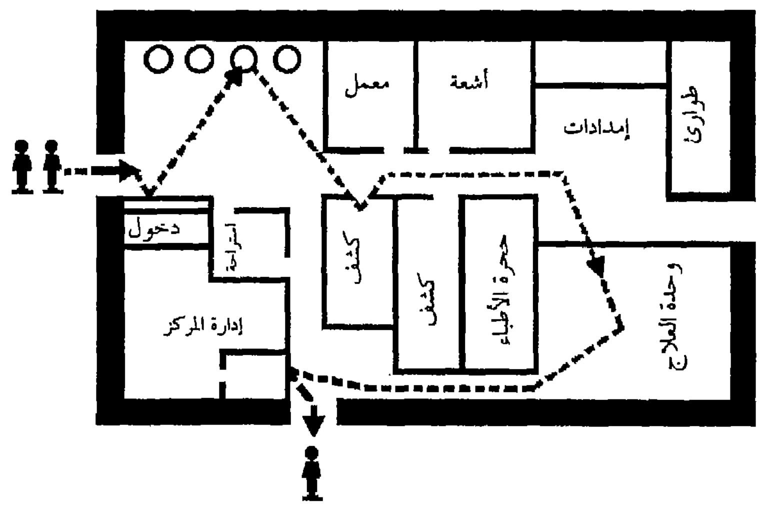
* مصنع إنتاجى مدخلاته عبارة عن مواد ومعدات وعمالة وغيرها؛ وعملية تحويل هذه المقومات عبارة عن تصنيع سلع مختلفة؛ ومخرجاته عبارة عن سلعة منتجة ترضى أذواق المستهلك .

* معمل تخليقى مدخلاته عبارة عن خامات نباتية وكيميائية وأجهزة تخليق وفنيى صيدلة وغيرها؛ وعملية تحويل هذه المقومات عبارة عن تخليق أدوية لعلاج أمراض معينة؛ ومخرجاته عبارة عن أدوية مُخلّقة لشفاء المرضى .

* ورشة حرفية مدخلاتها عبارة عن خامات معدنية أو خشبية وعدَد وحرفيي حدادة أو نجارة أو غيرها؛ وعملية تحويل هذه المقومات عبارة عن إصلاح سلعَة أو مُعدَّة معطلة؛ ومخرجاته عبارة عن سلعة أو مُعدَّة تعمل بكفاءة لصالح الحائز.

والمنظومات التصنيعية تتعامل أساسًا مع تخطيط وتوزيع وجدولة ومتابعة الخامات والمنتجات. والكفاءة فى هــذه المنظومـات تعتمـد أكثر على الماكينات والمعدات، حتى يمكن قياسها.

منظومة إنتاجية خدمية (Service System). تنتج المنظومة الخدمية منتجًا غير ملموس، يقدر قيمته مباشرة للعملاء وقت تقديم هذا المنتج. فهى تقوم بتحويل مقومات إنتاجية من مواد وأجهزة ومهنيين وطاقة وغيرها، إلى خدمات مقدمة للمواطنين من علاج مريض، أو تعليم طالب، أو خدمة مودع، أو غيرها. وتتميز المنظومات الخدمية بأن المواقع التى تعمل فيها غير مركزية، والطلبات عليها متغيرة بكثرة حسب رغبة وأذواق العملاء، والمدخلات دائمة التغيير حسب نوع الخدمة المطلوبة، والمخزون لا حاجة له، والنواتج دائمًا تفصيلية حسب طلب العميل، والجودة دائمًا متغيرة حسب خبرة مقدم الخدمة. وكثير من المنظومات الخدمية كالمكاتب السياحية، وسماسرة البورصة، تعتمد على مستوى وجودة أداء القائمين على تقديم هذه الخدمات؛ فى حين أن بعض التنظيمات الخدمية كشركات الاتصالات تعتمد أكثر على استخدام الأجهزة والمعدات. والشكل رقم (03 - 3) يوضح منظومة خدمية.



شكل رقم (03 - 3): منظومة إنتاجية خدمية

... بعض الأمثلة للمنظومات الخدمية على النحو التالى :

* ... تعليمية مدخلاتها عبارة عن مواد علمية، ومدرجات للمحاضرات، ... وأعضاء هيئة تدريس، وطلبة من الجنسين، وغيرها؛ وعملية تحويل هذه ... عن تعليم وتدريب الطلبة؛ ومخرجاتها عبارة عن خريج جامعى ينفع ... وطنه.

* مستشفى علاجى مدخلاته عبارة عن أدوية، وأسرّة للمرضى، ومعامل طبية، ... وأطباء، ومرضى، وغيرها؛ وعملية تحويل هذه المقومات عبارة عن ... المرضى؛ ومخرجاته عبارة عن إنسان معافى.

* ... تجارى مدخلاته عبارة عن استمارات وأوراق مطبوعة، وأجهزة حسابية، ... وشيكات مالية، وعملاء، ومصرفيين؛ وعملية تحويل هذه المقومات عبارة ... خدمات بنكية للعملاء؛ ومخرجاته عبارة عن عملاء نفذت لهم طلباتهم ... صرف أو إيداع أموال، أو فتح خطابات اعتماد، أو عمل خطابات ضمان.

... فى المنظومات الخدمية تركز على تدفق العملاء، وتلبية رغباتهم فى أقل وقت ... تكلفة ممكنة. ومن الصعب قياس الكفاءة فى هذه المنظومات الخدمية لأنها ... على العامل البشرى، وليس على المعدات كما فى المنظومات التصنيعية.

... أى نشاط فى منظومة إنتاجية، سواء كانت تصنيعية أو خدمية تهدف إلى أحد ... التالية :

* معالجة مشكلة معينة حدثت فى نشاط قائم لتحقيق هدف معين؛ أو
* تحسين أداء نشاط قائم معين للحصول على نواتج بأفضل جودة وأقل تكلفة؛ أو
* تصميم منظومة إنتاجية حديثة لأداء نشاط مستقبلى معين، بمستوى أداء محدد، ... بمواصفات معينة.

وقد أصبح من الصعب التفرقة بين تعريف السلعة وتعريف الخدمة، فتحسين السلعة ... عن طريق إضافة خدمة، وتحسين الخدمة يتم عن طريق إضافة سلعة.

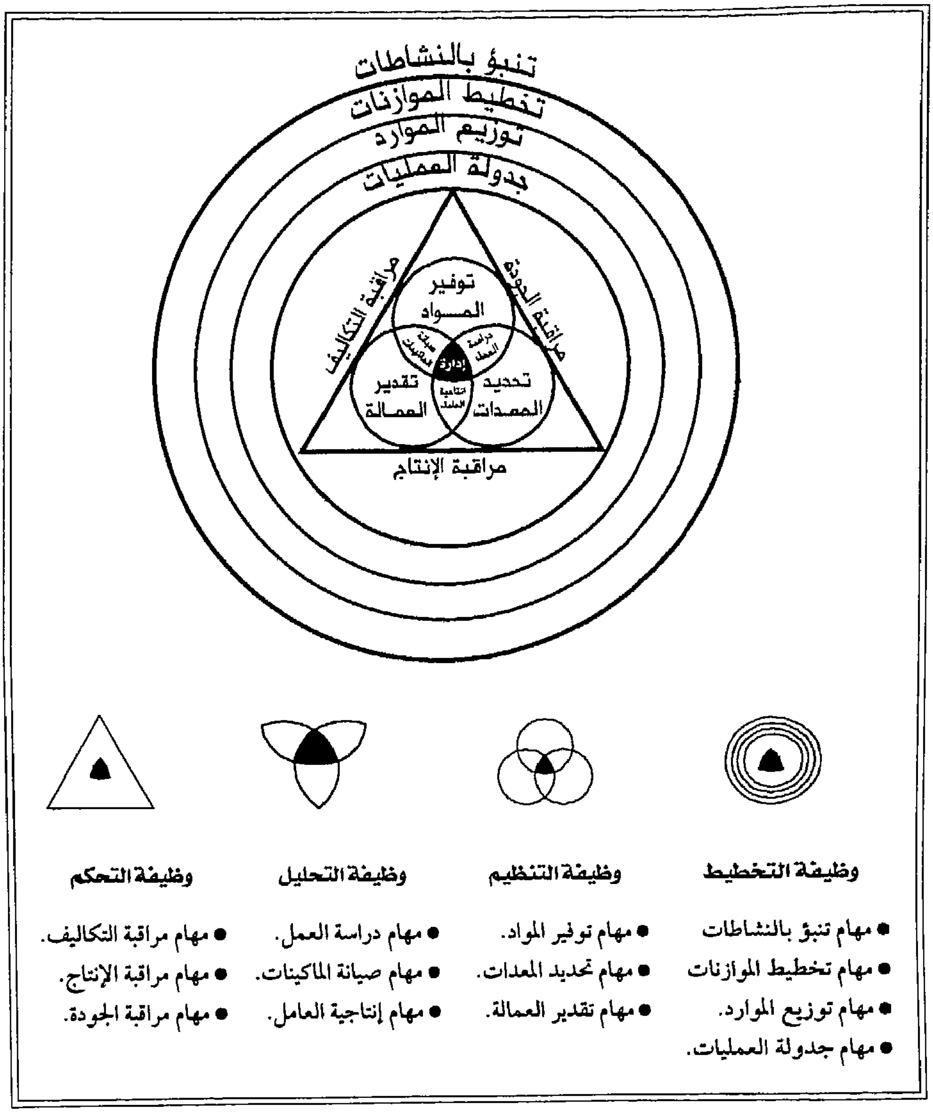
الفصل الثانى: تشغيل عمليات المنظومة

الإنتاج هو العصب الرئيسى فى أى نظام اقتصادى، فتحويل مقومات الإنتاج من مواد ومعدات وعمالة وغيرها، إلى نواتج من سلع وخدمات ذات قيم مضافة تمثل منظومة إنتاجية ناجحة. ولا يتأتى أى تقدم محسوس فى أى منظومة إنتاجية إلا بوجود الأفكار الجريئة (Exciting Ideas)، والمصادر الوفيرة (Abundant Resources)، والإدارة الحديثة (Modern Management). وبصرف النظر عن وجود الأفكار المبدعة، وتوافر الموارد المطلوبة، فلن يحدث أى تقدم محسوس بدون وجود الإدارة الواعية الرشيدة.

وظائف عمليات المنظومات:

تقوم الإدارة العلمية فى المنظومات الإنتاجية سواء كانت تصنيعية أو خدمية، بعدة وظائف ومهام معينة بغية تحقيق أهداف موضوعية. وتجمع هذه الوظائف بين تخطيط طلبات الإنتاج، وتنظيم مقومات الإنتاج، وتحليل مساعدات الإنتاج، وتحكم فى عمليات الإنتاج. وكل من هذه الوظائف لها توابعها الفرعية. ويمكن توضيح العلاقة بين الوظائف الرئيسية والمهام الفرعية فى الشكل رقم (04 - 3). وسوف نتناول هذه الوظائف بشرح مبسط حتى نتفهم العلاقة بين الوظائف التى تجمع التخطيط والتنظيم والتحليل والتحكم، ومهام هذه الوظائف، وذلك على النحو التالى:

وظيفة تخطيط النشاطات (Planning Function). من الوظائف الرئيسية التى تساهم فى إدارة مؤسسة إنتاجية سواء كانت تصنيعية أو خدمية هو عملية التخطيط التى تهتم بوضع خطط للأنشطة الدورية المتجددة على كل من المدى القصير والمدى الطويل، وذلك بتحديد الأهداف المستقبلية ووسائل تنفيذ هذه الأهداف، وتجميع البيانات الإحصائية ووسائل تقويم هذه البيانات، ووضع خطط بديلة مبنية على افتراضات مستقبلية واختيار الأنسب، وتجزئة الخطة الرئيسية إلى خطط فرعية لمختلف الأنشطة وتوقيت مدد التنفيذ،



شكل رقم (04 - 3): وظائف ومهام إدارية فى المنظومات الإنتاجية

ثم متابعة وتقويم الخطة المنفذة بصفة دورية فى ضوء التوقعات الجديدة مع علاج الأخطاء التى قد تحدث. والمهام الفرعية للتخطيط الممثلة فى أربع دوائر كبيرة بالشكل السابق هى على النحو التالى:

* **مهام تنبؤ بالنشاطات** (Activity Forecasting) . ترتكز عملية التخطيط على عدَّة مهام منها : التنبؤ للتعرف على الأحداث المحتملة أو المرتقبة . والتنبؤ هو تقدير مستقبلى معتمد على أسس إحصائية موضوعية ، ومؤشرات استنتاجية واقعية . أما التوقع فهو تقدير مستقبلى معتمد على المقدرة الذاتية فى تطويـع البيانات والمعلومات والمؤشرات ؛ فى حين أن التخمين من أخطـر ما يمكن ، لأنه يستند على التهيئات والتخيلات والأمنيات بدون برهان .

* **مهام تخطيط الموازنات** (Capital Budgeting). ترتكز عملية التخطيط على عدَّة مهام منها : الموازنة التى تترجم جميع الأنشطة التى تشمل الخطة إلى أرقام مالية ، وتعطى قيمة الأصول المتداولة ، والقيم الاستهلاكية ، والتدفقات النقدية تبعًا للاحتياجات اللازمة من قوى بشرية ، وخامات أولية ، وأساليب إنتاجية ، وكذا التوقعات المالية نتيجة المبيعات . هذا بالإضافة إلى قيم الأموال المتدفقة الشهرية ، واستهلاك الأصول لحساب الضرائب السيادية .

* **مهام توزيع الموارد** (Resource Allocation). ترتكز عملية التخطيط على عدة مهام منها : التوزيع الأمثل للموارد المتاحة على مختلف الأنشطة ، بغية الوصول إلى الهدف سواء كان أقصى ربحية ، أو أقل خسارة ، أو أقل تكلفة ، أو أعلى إنتاجية . ويمكن النظر إلى هذه العملية على أنها تخصيص عدة موارد متاحة لعدة سلع منتجة ، بحيث يناسب حجم الإنتاج من كل سلعة ، ويحقق هدف المؤسسة من كل منتج .

* **مهام جدولة العمليات** (Process Scheduling). ترتكز عملية التخطيط على عدَّة مهام منها : الجدولة المثلى للعمليات الإنتاجية على خطوط الإنتاج ، حتى يمكن التعرف على حجم إنتاج فى فترة معينة ، وبذلك يمكن حساب سعة الإنتاج فى العام مثلاً . ويراعى فى ذلك تحديد عمليات التشغيل وأزمنتها وتتابعها على الماكينات المنتجة .

وظيفة تنظيم النشاطات (Organization Function). من الوظائف الرئيسية التى تساعد فى إدارة مؤسسة إنتاجية سواء كانت تصنيعية أو خدمية ، عملية التنظيم التى تهتم بالتعرف على مقومات الإنتاج حتى يمكن استخدامها الاستخدام الأمثل ، وبذلك يزيد من المقدرة التنافسية فى السوق ، ويزيد نسبة الربحية . وتركز الإدارة دائمًا على كفاءة أنشطة التنظيم . والمهام الفرعية للتنظيم الممثلة فى ثلاث دوائر صغيرة داخل مثلث بالشكل السابق هى على النحو التالى :

* **مهام توفير المواد** (Material Inventory). ترتكز عملية التنظيم على عدَّة مهام منها: التحديد الأمثل للمواد الأولية التي تستخدم في إنتاج السلع المطلوبة خلال دورة زمنية معينة. وهذا يعني أنه يجب المواءمة بين تكلفة مخزون الخامات مقابل تكلفة معينة نشأت عن توقف الإنتاج بسبب نفاد المخزون منه، وبالتالي فقدان عملاء. وبالمثل يمكن التعرف على المخزون من المنتجات نصف المصنَّعة، والمنتجات تامة الصنع.

* **مهام تحديد المعدات** (Equipment Determination). ترتكز عملية التنظيم على عدَّة مهام منها: التحديد الأمثل للمعدات وخطوط الإنتاج التي تستخدم في إنتاج حجم معين من السلع المطلوبة، مراعيًا في ذلك التقنية المستخدمة، والإمكانات المتاحة. ويتطلب هذا تحديد معدلات الإنتاج.

* **مهام تقدير العمالة** (Manpower Estimation). ترتكز عملية التنظيم على عدَّة مهام منها: التحديد الأمثل للموارد البشرية المطلوبة لتحقيق الخطة، أي أداء حجم معين من الأعمال خلال فترة زمنية محددة، وكذا تحديد المتطلبات من أعداد ومهارات وخبرات وإمكانات الأفراد التي يجب توافرها، حتى يمكن القيام بالنشاطات المطلوبة. ويتطلب هذا تحديد المواصفات الاجتماعية والنفسية المناسبة التي تجعل العامل أكثر استعدادًا ورغبة في أداء الأنشطة المطلوبة.

وظيفة تحليل النشاطات (Analysis Function). من الوظائف الرئيسية التي تساهم في إدارة مؤسسة إنتاجية سواء كانت تصنيعية أو خدمية، عملية التحليل التي تهتم بدراسة وقياس العمل، وصيانة وإصلاح الماكينات، وكفاءة وإنتاجية العامل. والمهام الفرعية للتحليل المثلة في تقاطع كل دائرتين من الدوائر الثلاث الصغيرة بالشكل السابق هي على النحو التالي:

* **مهام دراسة العمل** (Work Study). ترتكز عملية التحليل على عدَّة مهام منها: تحليل العمليات الحالية والمستحدثة عن طريق تسجيل طرق التشغيل الحالية، ثم تطويرها بهدف تقليل مجهود العامل، وتخفيض وقت التشغيل، وبالتالي تقليل التكلفة. والعمليات التكرارية الكثيرة العمالة يمكن تحسين طرق تشغيلها. كما أنه يمكن قياس العمل بعد اختبار عملية التحسين، حتى يمكن تحديد معدلات الإنتاج.

* **مهام صيانة الماكينات** (Machine Maintenance). ترتكز عملية التحليل على عدَّة مهام منها: تحليل عمليات الصيانة الوقائية الدورية، والإصلاح عند التوقف عن الإنتاج.

ومن العوامل الضرورية التى توجب عمل برنامج صيانة وقائية مؤثرة، مراعاة معامل الأمان، واعتمادية المعدات، واستقرار العمالة، واقتصاديات التشغيل. كما أنه يمكن وضع سياسات لعمليات الصيانة والإصلاح على أساس التكلفة.

* **مهام إنتاجية العامل** (Labor Productivity). ترتكز عملية التحليل على عدَّة مهام منها: تحليل إنتاجية العامل التى عادة ما تقاس بالاستخدام المؤثر للمواد التى تنتج سلعًا أو خدمات، أى أن نسبة قيمة النواتج إلى قيمة المقومات يجب أن تكون أكثر من واحد صحيح، حتى تكون المنظومة مربحة. كما أن قيمة المخرجات تُحدَّد بواسطة المستهلكين فى السوق. أما تكلفة المدخلات فهى تُحدَّد أكثر بواسطة الموردين.

وظيفة تحكم النشاطات (Control Function). من الوظائف الرئيسية التى تساهم فى إدارة مؤسسة إنتاجية سواء كانت تصنيعية أو خدمية هو عملية المراقبة التى تهتم بمراقبة عناصر تكلفة الإنتاج، ومراقبة الجودة، مع الالتزام بزيادة الإنتاجية دون التضحية بالجودة، والالتزام التام بمواعيد الإنتاج وتسليم المنتجات، وكذا الالتزام برضاء العملاء نتيجة انخفاض التكلفة، وتحسين الجودة، وزيادة المقدرة التنافسية. والمهام الفرعية للتحكم الممثلة فى أضلاع المثلث بالشكل السابق هى على النحو التالى:

* **مهام مراقبة التكاليف** (Cost Control). ترتكز عملية المراقبة على عدَّة مهام منها: وضع التكاليف المعيارية (Standard Costs) التى تحسب على أساس معدل الخامات والعمالة والنفقات، ومقارنتها بالتكاليف الحقيقية (Actual Costs)، مع وضع سياسة لترشيد عناصر التكلفة، وضغط النفقات غير المباشرة على مستوى المؤسسة الإنتاجية ككل.

* **مهام مراقبة الإنتاج** (Production Control). ترتكز عملية المراقبة على عدَّة مهام منها: وضع السياسات التى تحدد معدلات الإنتاج، وتحقيق اعتمادية المنظومة الإنتاجية لضمان إنتاج الكمية المخططة، وتحديد حجم العمالة، وتطبيق مبدإ الساعات الإضافية والحوافز لرفع حجم الإنتاج.

* **مهام مراقبة الجودة** (Quality Control). ترتكز عملية المراقبة على عدَّة مهام منها: تحديد مستوى الجودة لمواصفات المنتج الذى يطلبه العملاء، وخلال مرحلة التصميم الهندسى للمنتج ليفى بأهداف التسويق، وخلال مراحل الإنتاج للمواد الأولية وعمليات التشغيل، وخلال مراحل الاستعمال للضمان ضد عيوب الصناعة.

وبالرجوع إلى الشكل رقم (4 0 - 3) الذى يوضح وظائف ومهام الإدارة، نجد أن المساحة الناتجة عن تقاطع الدوائر الثلاثة داخل المثلث، تمثل الإدارة العليا، وهى العقل المدبر الذى يخطط، وينظم، ويحلل، ويراقب مختلف الأنشطة فى المؤسسة الإنتاجية، وتتخذ القرارات التى تؤثر تأثيراً مباشراً وفعالاً على هذه الأنشطة، وتعرف علميّا بالنطفة (Sperm).

إدارة عمليات المنظومات:

تقوم الإدارة العلمية فى المنظومات الإنتاجية سواء كانت تصنيعية أو خدمية، بتخطيط وتنظيم وتحليل وتحكم عمليات تحويل مقومات إنتاجية من خلال منظومة معينة، وتحت ظروف رقابية محدَّدة، بغية الحصول على نواتج ذات قيم مضافة لقيم المقومات، وذلك طبقًا للأهداف الموضوعة. وبمعنى آخر، فإن إدارة أى مؤسسة إنتاجية تتضمن المسئولية الكاملة عن تحديد مقومات الإنتاج، وتحويلها ـ طبقًا لخطة إنتاجية موضوعة مسبقًا بهدف الاستفادة الكاملة من المقومات المتوافرة ـ إلى سلع بمواصفات معينة حسب طلبات وأذواق المستهلكين، أو خدمات محدَّدة طبقًا لاحتياجات ورغبات المستفيدين.

ومن المسلم به، أن مدى نجاح أى منظومة إنتاجية، يعتمد اعتماداً كليّا على كيفية صياغتها فى منظومة علمية متكاملة عاملة فى بيئة محيطة صالحة من خلال مناخ إدارى مثالى. والدليل على ذلك أن المصريين الذين يعملون فى الدول العربية، والذين هاجروا إلى أوربا وأمريكا، والذين يشغلون مناصب فى شركات أجنبية فى مصر، ينجحون، بل يتفوقون على أقرانهم الذين يعملون فى مؤسسات وطنية، لأنهم يزاولون عملهم من خلال منظومة هادفة ودافعة ومحفزة، ويعيشون فى بيئة منشطة ومشجعة ومحبذة. أما الذين يعملون فى مؤسسات وطنية أو شركات محلية، فهم يفشلون فى حسن استخدامهم لقدراتهم وإمكاناتهم، وحسن إدارتهم لعلاقاتهم الإنسانية، لأنهم يعيشون فى بيئة غير صالحة، وغير صحية، وغير مريحة؛ ويعملون من خلال منظومة مقلقة لا تعرف الاستقرار، وحاقدة لا تعرف التعاون، ومحبطة لا تعرف التشجيع، وهدامة لا تعرف النجاح.

فالإدارة الحديثة فن، إذ لديها المقدرة على حصر القدرات والإمكانات والطاقات التى يتميز بها أفراد المجموعة، ثم توليف هذه الخصائص لدى المرءوسين فى منظومة إدارية،

بغية الوصول إلى نواتج ذات قيم مضافة عالية بأقل تكلفة للمقومات. ويمكن تشبيه هذه المنظومة بسيمفونية ذات عناصر مولّفة لتعطى لحنًا يتذوقه المستمعون، وإدارة هذه المنظومة تشبه قيادة الأوركسترا التى تقود العازفين.

والإدارة الحديثة علم، إذ لديها المقدرة على التعامل المنطقى للمنظومات الكبيرة والمتشعبة والمعقدة، والتحليل العلمى للمكونات والعناصر والمتغيرات، والاستخدام الأمثل للمعلومات التى تدعم صنع القرار الرشيد فى أقصر وقت ممكن.

والإدارة الحديثة انضباط، إذ لديها المقدرة على تطبيق الإجراءات والتعليمات والتوجيهات والإرشادات فى المنظومة الإدارية على الجميع بدون تفرقة بين عامل صغير وموظف كبير، أو بين زبون فقير وعميل ملىء، أو بين شخص ضعيف وآخر قوى. وهذا هو الذى يجعل كل إنسان يؤمن بأنه مثل كل إنسان أمام الإدارة، ولا تهاون مع أى خطإ سواء كان بسيطًا أو فادحًا.

وقد تعددت المدارس الفكرية التى توضح أساليب الإدارة ووظائفها فى أى منظومة إنتاجية. ويمكن بلورة ثلاثة مدارس فكرية لأساليب الإدارة على النحو التالى:

فكر وظيفى (Functional School of Thought). وهو فكر تقليدى يعتمد على وظائف الإدارة التقليدية من تخطيط ومتابعة لمختلف أنشطة المؤسسة.

فكر سلوكى (Behavioral School of Thought). وهو فكر إنسانى يعتمد على تركيز الإدارة على العلاقات الإنسانية والسلوك التنظيمى، وتعمل الإدارة من خلال أشخاص فى وظائف تنظيمية هرمية، لقيادة مختلف أنشطة المؤسسة.

فكر منظومى (Systematized School of Thought). وهو فكر علمى يعتمد على تركيز الإدارة على طبيعة أنشطة المنظومة المتكاملة، وتوفير العلاقة والتعاون بين مكوناتها، وفى ذلك تستخدم قواعد البيانات والمعلومات، وأساليب الرياضة والإحصاء لصنع القرار حتى تتحقق أهداف المؤسسة. ويجدر الإشارة إلى أنه إذا تحقق الحل الأمثل لكل من المنظومات الفرعية مستقلة بعضها عن بعض، فلا ضمان فى تحقيق الحل الأمثل للمنظومة الرئيسية.

وقد أدى كبر حجم المنظومات الإنتاجية، وكثرة نشاطاتها، وتباين مجالاتها، وتعقّد

عملياتها، إلى ضرورة إيجاد إدارة علمية تواجه المستقبل بمعلومات المستقبل، وليس بمعلومات الماضى أو بمعلومات الحاضر. وقد قدم الأستاذ الدكتور George Dantzig بجامعة إستانفورد تعريفًا للإدارة العلمية وبحوث العمليات وهو على النحو التالى:

«الإدارة العلمية وبحوث العمليات اسمان لشيء واحد، يرمزان إلى علم صنع القرار وتطبيقاته، وميكنة صنع القرار بدون تدخل بشرى».

وقد ركز هذا التعريف على نقطتين أساسيتين هما: أن بحوث العمليات هى الإدارة العلمية؛ وأن ميكنة جميع القرارات ممكنة.

وبالرغم من أن الأساليب الرياضية والحاسبات الآلية قد ساعدت فى ميكنة بعض القرارات الروتينية التى قد تصل إلى حوالى 70% من القرارات الإدارية الكلية، فإن صنع القرار هو عمل بشرى محض، ويساعده فى ذلك جمع المعلومات وتحليلها، هذا بالإضافة الى العوامل التى لا يمكن تقويمها كالعوامل الإنسانية. أما القرارات الروتينية التى يمكن ميكنتها مستخدمًا الكمبيوتر، فهى على سبيل المثال لا الحصر: مراقبة حجم المخزون، ومراقبة كمية الإنتاج، وهى التى يتطلب تمثيلها فى نماذج رياضية نمطية وحلها مستخدمًا بعض الأساليب الرياضية والإحصائية.

ويتضح من ذلك أن الإدارة العلمية ما هى إلا مجموعة من الأفكار المبتكرة التى صُمِّمت لتزيد من ترشيد القرارات الإدارية، وتعطى تفهمًا فى مجالات الأنشطة الإدارية التى كانت تعالج تقليديًا بأحكام سطحية. وفى ظل التكنولوجيات الحديثة، وطبيعة المشكلات الديناميكية، ومن خلال خبرتى الصناعية والأكاديمية والاستشارية أرى أن أنسب تعريف للإدارة العلمية هو على النحو التالى:

«الإدارة العلمية أسلوب فلسفى يعاون الإدارة فى صنع قرارات تنفيذية رشيدة فى أوقات مناسبة وبسرعة ملائمة، من خلال منظومات كيفية لتحديد المشكلات وتشخيصها، ونماذج كمية لتحليل المشكلات ومعالجتها».

فالإدارة العلمية تبحث فى صنع القرارات الرشيدة التى تتضمن عادة عوامل ملموسة (Tangible Factors) وعوامل غير ملموسة (Intangible Factors)، حيث إن العامل البشرى دائم الوجود فى كل بيئة. لذلك فإن الإدارة العلمية يجب أن يُنظر إليها فى اتجاهين: اتجاه فنى (Art)، واتجاه علمى (Science). فالاتجاه الفنى هو استخدام

الإمكانات والقدرات والابتكارات الشخصية فى جميع المراحل التى تسبق وتلى معالجة المشكلات الإدارية. أما الاتجاه العلمى فهو استخدام الأساليب الرياضية والإحصائية فى حل النماذج التى تُمثّل منظومات المشكلات الواقعية. وبالرجوع إلى التعريف السالف الذكر، نجد أن الإدارة العلمية لها خصائص معينة يمكن أن نسردها على النحو التالى:

* الإدارة العلمية أسلوب (Approach) وليست تخصصًا (Discipline)، فيمكن تعلم أساليب الإدارة العلمية بواسطة عدة متخصصين ذوى تخصصات متباينة تخدم وظائف تنظيمية مختلفة.

* الإدارة العلمية تُستخدم لتعاون الإدارة فى تحليل الأحداث وصنع القرارات (Decision - Making Approach)، وليست لتحل محله، فهى تستخدم فى تحليل المتغيرات لصنع القرارات الروتينية، وتحديد البدائل لصنع القرارات غير الروتينية.

* الإدارة العلمية تتبع الأسلوب الهندسى (Engineering Approach) الذى يستخدم فى معالجة المشكلات، أى صنع القرارات التنفيذية فى أقرب وقت ممكن.

* الإدارة العلمية تتمثل فى تحليل المنظومات الواقعية التى تعبر عن المشكلات الحقيقية (Pragmatic Approach)، واتخاذ القرارات على أساس الحقائق.

* الإدارة العلمية تتمثل فى استخدام النماذج الرياضية التى تعطى تمثيلاً حقيقيًا للمنظومات الواقعية (Modelling Approach)، حتى يمكن الحصول على حلول مثلى لهذه النماذج وتطبيقها لمعالجة المشكلات الحقيقية.

ويتكون مجال الإدارة العلمية من مجموعة أساليب مترابطة ومتحدة فى الأهداف المشتركة لتحسين الأداء الإدارى. وتتراوح هذه الأساليب بين طرق تستخدم فى زيادة فهم واستيعاب المشكلات الإدارية، وطرق كمية تستنتج قواعد تحليلية لصنع القرارات، ويمكن إيضاح هذين الأسلوبين على النحو التالى:

أساليب كيفية (Qualitative Techniques). تعتمد هذه الطرق الكيفية على أسلوب المنطق (Logic Approach)، بالإضافة إلى نظرية الفئات (Set Theory)، ونظرية المجموعات (Group Theory)، ونظرية الرسومات (Graph Theory)، وذلك لدراسة خواص وعلاقات مكونات المنظومة الإنتاجية. وعادة ما يسبق النموذج الكيفى – فى معالجة المشكلات – النموذج الكمى والتفكير المنطقى، مع العلم بأن الأحاسيس الداخلية لصانع القرار لا تعنى عدم الثقة فى المنهج العلمى.

أساليب كمية (Quantitative Techniques). تعتمد هذه الطرق الكمية على التشكيل الرياضى الذى يتكون عادة من تصغير أو تكبير دالة الهدف، فى ظل مجموعة من القيود المتباينة التى تتمثل فى معادلات رياضية، ويمكن أن تكون هذه العلاقات الرياضية محدَّدة (Deterministic) أو احتمالية (Probabilistic)، أو عشوائية (Stochastic).

ومن خصائص الأساليب الكمية أنها ذات صبغة علمية، إذ إن الهدف منها هو المساعدة فى إيجاد وسائل تحسين كفاءة منظومات التشغيل الحالية أو المستقبلية. ولإنجاز ذلك فإنه يجب التعرف على حقائق العمليات، وتوضيح النظريات التى تشرح هذه الحقائق، واستخدام هذه النظريات والحقائق لاستشراف العمليات المستقبلية فى تحقيق هدف معين. ويعزو الرواد الأوائل حداثة ما يقومون به إلى عاملين: أولهما يتعلق بظاهرة خضوع منظومات التشغيل (Operating Systems) للدراسة العلمية؛ وثانيهما يتعلق بترتيبات الإدارة التى طُوّرت بهدف التنفيذ العملى لما تم استخلاصه من الدراسة العلمية.

ويطلق على النمذجة الرياضية والأساليب التحليلية مصطلح «بحوث العمليات» كمنهج علمى، خرج إلى حيز الوجود خلال الحرب العالمية الثانية. وعلى الرغم من اتساع نطاق دراسات بحوث العمليات، وتنوعها لتشمل كثيراً من التطبيقات العسكرية والمدنية فإن الاصطلاح بقى ليستخدم فى جميع التطبيقات. وهناك عدة مرادفات لاصطلاح بحوث العمليات (Operations Research)، فالبريطانيون يفضلون الإشارة إلى بحوث العمليات بالمصطلح (Operational Research)، والأمريكيون يستخدمون اصطلاح علم الإدارة (Management Science). وهناك تعريفان تبنتهما جمعيتا بحوث العمليات فى كل من بريطانيا وأمريكا. فالتعريف الذى قدمته جمعية بحوث العمليات البريطانية هو على النحو التالى:

> **«بحوث العمليات هو تطبيق الوسائل العلمية على المشكلات المعقدة المتعلقة بتوجيه وإدارة المنظومات الكبرى التى تضم القوى البشرية والآلات والمواد والأموال فى هيئات الصناعة والأعمال، بالإضافة إلى المؤسسات الحكومية والعسكرية».**

وتعتمد منهجية بحوث العمليات على تطوير نموذج علمى للمنظومة التى تحتوى على قياسات لكثير من العوامل مثل درجة التقريب فى استشراف ومقارنة الإستراتيجيات

والقرارات المتعددة، بغرض تقديم المساندة إلى الإدارة في تحديد سياستها. أما التعريف الذي قدمته جمعية بحوث العمليات الأمريكية فهو على النحو التالي:

«بحوث العمليات تهتم بالاختيار العلمي لأفضل تصميم وتشغيل لمنظومات الإنسان والآلة (Man-Machine Systems)، وفي ظروف تتطلب تخصيصاً للموارد المحدودة».

وعلى الرغم من أن كلاً من التعريفين يغيب عنه الشرح الدقيق لعلم بحوث العمليات، فإنهما يميلان إلى التأكيد على أن الحافز للقيام بدراسات بحوث العمليات هو مساندة صانع القرار في التعامل مع المشكلات العلمية المعقدة. ويؤكد التعريفان السابقان على المنهجية العلمية. ولربما أمكن تقديم تعريف أوفق لبحوث العمليات يشير إلى رؤيتي الواقعية، وخبرتي العملية، وهو على النحو التالي:

«بحوث العمليات هو فرع من فروع العلوم الطبيعية التي توظف المنهج العلمي لتوفير أسس المعرفة، وهو يتميز بدراسة ظواهر منظومات التشغيل، ثم تمثيل هذه المنظومات بنماذج رياضية تمثل الواقع، إما بصورة دقيقة معقدة، وإما بصورة تقريبية مبسطة. وتنطوي هذه النماذج على تحليل المتغيرات والثوابت، والأهداف والقيود، مستخدماً الأساليب الرياضية والإحصائية، ومستغلاً إمكانات الحاسبات الآلية، للتأكد من صلاحية الإستنتاجات الناتجة من هذه النماذج، تمهيداً لتطبيقها في معالجة المشكلات الواقعية».

ويمكن القول بأن مضمون «بحوث العمليات» كعلم، هو تطبيق المنهج العلمي في مجال منظومات التشغيل. والمنهج العلمي هو عبارة عن عدة خطوات منطقية متتابعة، يجب اتخاذها عند معالجة المشكلات الواقعية. ومما هو جدير بالذكر، أن العالم الرياضي الخوارزمي له دور بارز في وضع وتطوير ذلك المنهج في القرن التاسع الميلادي، مما حدا بإطلاق مصطلح «الخوارزمات» على الأساليب الرياضية. وبحوث العمليات لها عدة سمات رئيسية منها ما هو على النحو التالي:

* علم بحوث العمليات في مضمونه العلمي هو أسلوب من أساليب العلوم التطبيقية (Applied Science Approach)، إذ يستخدم الأساليب العلمية من رياضيات وإحصاء

وحاسبات فى تشخيص المشكلات الطبيعية، وصياغتها فى منظومات واقعية بمدخلاتها وتحويلاتها ومخرجاتها، وتمثيل هذه المنظومات بنماذج رياضية بمتغيراتها وثوابتها وأهدافها وقيودها، للحصول على استنتاجات عملية تساعد صانع القرار فى معالجة هذه المشكلات.

* علم بحوث العمليات فى مضمونه العلمى هو أسلوب من أساليب المجموعات التخصصية (Specialized Grouping Approach)، إذ تتطلّب مهارات وخبرات المتخصصين فى مختلف المجالات. ونظراً لتعدد مجالات تطبيقه فى الصناعة، والزراعة، والتجارة، والصحة، والتعليم، وغيرها، فيفضل أن يتولى فريق بحثى من المتخصصين فى مجال المشكلة المطلوب معالجتها، مع باحثى العمليات.

* علم بحوث العمليات فى مضمونه العلمى هو أسلوب من أساليب الحلول المتوازنة (Balanced Solution Approach)، إذ يتبنى وجهة النظر المنسقة بين مختلف قطاعات المنظومة المتكاملة، ويسعى إلى إزالة المتعارضات بين مختلف النشاطات بطريقة تجعل المنظومة المتكاملة أكثر إنسجامًا وتناسقًا، كما تقود إلى حل يوازن بين متطلبات جميع القطاعات، بحيث يكون هذا الحل هو حلاً أمثل من بين مجمل الحلول الممكنة. فأهداف قطاعات المنظومة المختلفة فى نفس المؤسسة الإنتاجية كثيراً ما تكون متعارضة (Diametrically Opposed): فقطاع الإنتاج يهدف إلى دورة إنتاجية طويلة لمنتج معين تفاديًا لتغيير العدَدْ والمرشدات والمثبتات والإسطمبات، فى حين أن قطاع التسويق يفضل توافر سلع مختلفة المواصفات والأذواق آملاً فى زيادة التوزيع؛ وقطاع المخازن يرى أنه كلما كان المخزون قليلاً أو صفراً يكون أفضل تحسبًا للمسئولية؛ وقطاع الشئون المالية يهدف إلى زيادة معدل دوران رأس المال تخوفًا من تجمُّد الأموال، فى حين أن الهدف الرئيسى للمؤسسة الإنتاجية هو تعظيم الربحية.

وعند التفكير فى الدروس المستفادة من إنشاء وتطوير بحوث العمليات فى المجال العسكرى والمدنى، نستنتج بعضًا من هذه الدروس التى نوجزها على النحو التالى:

* تُمثِّل المؤسسات العسكرية أحد عوامل الدفع المهمة نحو التطور والتقدم العلمى، نظراً لتعاملها مع متطلبات الأمن القومى، وما يتبعه من قيادة حازمة، ومناخ جدى، وتمويل سخى، مما يوفر البيئة المناسبة للبحث العلمى.

* تؤدى أوقات الشدة إلى تضافر جهود المخلصين على الرغم من تباين خلفياتهم العلمية وأنشطتهم العملية فى المجال العسكرى أو المدنى .

* تأخذ الريادة المخلصة على عاتقها حمل الشعلة حتى يخرج علم ما كعلم بحوث العمليات إلى حيز الوجود، ويتطور على أسس قوية . وقد أصرّ الرواد على المضى فى تطوير علم بحوث العمليات وتوثيقه وتوسيع مجالاته، وتدريب طلابه، حتى بلغ هذا العلم مرحلة البلوغ .

* تعتمد دراسات بحوث العمليات على التفاعل والتفاهم والتناغم التام بين القائمين على هذه الدراسات والمستفيدين منها، الأمر الذى يستدعى مراعاة الاحتياجات والقيود التى تؤثر على طرق تحليل ومعالجة المشكلات .

* تؤدى الحاسبات الآلية دوراً رئيسيا فى تطور وانتشار دراسات بحوث العمليات . فقد أدى التفاعل الإيجابى بين علوم الحاسب، وبحوث العمليات، ونظم المعلوماتية إلى زيادة القدرات التحليلية لمعالجة المشكلات ذات الحجم والتعقيد والتشابك الكبير .

* تزداد استفادة الجهة المستفيدة من نتائج دراسات بحوث العمليات، كلما اقترب فريق الدراسة من أعلى المستويات من صانعى القرار .

* تعتمد معالجة المشكلات على باحثى العمليات ومتخصصى منظومات التشغيل فى المجالات المتعددة، مستخدمين فى ذلك نظم المعلوماتية التى أحدثت ثورة فكرية فى تطبيقات بحوث العمليات .

الفصل الثالث: تدعيم قرارات المنظومة

الإنسان مهما كان مستوى مركزه، أو نوع عمله، فإنه يمارس عادة صناعة القرار. فالمدير يختار أنسب أسلوب للفوز بشريحة من السوق أكبر من منافسيه، والمهندس يختار أنسب المواصفات لخطوط الإنتاج حتى يزيد من إنتاجيته، والتاجر يختار أفضل السلع للمتاجرة فيها والحصول على أكبر ربحية، وسيدة المنزل تختار أنسب الطعام لتطعم أفراد أسرتها بأقل تكلفة، وعامل النظافة يختار أنسب الطرق لتنظيف الشارع بأقل مجهود.

وصنع القرار ـ للخروج من مشكلة معينة أو موقف متأزم ـ ما هو إلا عملية اختيار بين البدائل المطروحة، وبالتالى فإنه يخضع لأسلوب علمى يستلزم عدة إجراءات تنظيمية تضم مجموع الإجراءات التى تتخذ لخلق بدائل متباينة، ومجموع الأساليب التى تراعى تقويم هذه البدائل، ومجموع العوائد التى تساعد على اختيار الأنسب.

وقد أصبحت عملية صنع القرار عملية صعبة التحقيق وباهظة الثمن فى عصر يتسم بالتقدم السريع، لأنه أصبح عالم المعرفة السريعة، والمعلومات المتفجرة، والتقنية المستحدثة، والحياة المعقدة، والمخاطر المكلفة. فالقرارات التى كانت تستند إلى أساليب الحدس الشخصى، أو الحظ الاحتمالى، أو التخمين الفكرى، أو المبنى على التجربة والخطإ (Trial & Error Decision)، أو الحالة المزاجية لصانع القرار، أو الإفتاء الفردى بمعنى أنه يقعد على «المصطبة» ويفتى (Hunch Decision)؛ كل هذا لم يعد يصنع قراراً رشيداً، مما يسبب فى ضياع فرص ثمينة، وتكلفة باهظة فى الجهد والوقت والمال. فأصبحت هذه الأساليب لا تحظى بالترحيب فى صنع القرار. لذلك فإن سيكولوجية صناعة القرار تحتاج إلى إدراك كامل، ووعى شامل.

وصنع القرار الرشيد أصبح يقتضى قدراً كبيراً من البيانات والمعلومات، وتحديداً كاملاً للعوامل والمتغيرات، وتحليلاً دقيقاً للسياسات والإستراتيجيات، وحساباً علميّاً للمخاطر والأضرار، ومعالجة علمية للبدائل والاختيارات. ويتأتى هذا عن طريق إجراء

السيناريوهات، وتصميم المنظومات، وتحديد العوامل، ودراسة المتغيرات، وتحليل المخاطر، ووضع الإستراتيجيات.

والعامل الشخصي يؤثر عادة في صنع القرار، حيث إنه مهما تقدمت التقنيات، واستخدمت الحاسبات، فإن تحليل المعلومات، وتحديد المتغيرات، وإجراء السيناريوهات، واختيار البدائل، وتحليل المخاطر، كل ذلك يعتمد أساسًا على العامل الشخصي. إنما التقنيات والحاسبات وسائط تتسم بدقة المعالجات التحليلية، وسرعة الحصول على النتائج لدعم الإدارة في صنع القرار.

نماذج قرارات المنظومات:

تُعَدّ كمية ونوعية المعلومات المتوافرة لاحتمال حدوث البدائل الممكنة هي الأساس المشترك في تصنيف القرارات. فهناك نماذج متعددة تستخدم في صناعة القرار وهي: قرارات في حالات محددة، وقرارات في حالات احتمالية، وقرارات في حالات عشوائية. ويمكن توضيح هذه النماذج مع تقديم مثال لكل حالة، وهي على النحو التالي:

قرارات في حالات مؤكدة (Decision-Making under Certainty). وهي قرارات محددة لا تحمل أي مخاطرة، حيث تُصنع على أساس معلومات مؤكدة، بدون تحمل أي مخاطر، ويتلخص عمل صانع القرار في مقارنة جميع البدائل، واختيار الأفضل أو الأنسب وفقًا لمقياس الفعالية، وتعرف رياضيًا بالقرارات المحددة (Deterministic Decisions).

ويمكن توضيح الفكرة بمثال عددي بسيط، إذ نفترض وجود ثلاثة فنيين X وY وZ، كل منهم ذو مهارة معينة، ويمكنهم إصلاح ثلاثة أجهزة A وB وC بها أعطال مختلفة. والجدول يبين الوقت بعدد الساعات الذي يستغرقه كل من الفنيين في إصلاح أي جهاز، بحيث إن كل فني سيكلَّف بإصلاح جهاز واحد فقط، بشرط أن يكون إجمالي زمن الإصلاح أقل ما يمكن، وهو مقياس الفعالية في هذا المثال، مع مراعاة أنه إذا تم تكليف الفني X لإصلاح الجهاز A مثلاً، سيرمز لها (X,A).

	الأجهزة		
الفنيين	A	B	C
X	3	7	4
Y	4	6	6
Z	3	8	5

ويمكن حساب زمن الإصلاح لكل بديل على النحو التالي:

البدائل	البدائل المتباينة	مقياس الفعالية
البديل الأول	(X,A) , (Y,B) , (Z,C)	14 = 3 + 6 + 5
البديل الثانى	(X,A) , (Y,C) , (Z,B)	17 = 3 + 6 + 8
البديل الثالث	(X,B) , (Y,A) , (Z,C)	16 = 7 + 4 + 5
البديل الرابع	(X,B) , (Y,C) , (Z,A)	16 = 7 + 6 + 3
البديل الخامس	(X,C) , (Y,B) , (Z,A)	(13) = 4 + 6 + 3
البديل السادس	(X,C) , (Y,A) , (Z,B)	16 = 4 + 4 + 8

يتضح من هذه البدائل أن الحل الأمثل هو البديل الخامس بمقياس فعالية 13 ساعة .

قرارات فى حالات مخاطرة (Decision-Making under Risk). قرارات احتمالية ، تحمل مخاطرة محسوبة ، تصنع على أساس معلومات احتمالية ، مع إمكانية التنبؤ بالاحتمالات التى قد تحدث . ويتلخص عمل صانع القرار فى تقدير درجة احتمال حدوث كل بديل ، مع تحمل مخاطر محسوبة ، ثم مقارنة البدائل بدلالة التوزيع الاحتمالى ، واختيار الأفضل أو الأنسب وفقًا لمقاييس متعددة الفعالية ، وتعرف رياضيًا بالقرارات الاحتمالية (Probabilistic Decisions) .

ويمكن توضيح الفكرة بمثال عددى بسيط ، إذ نفترض أن أمام إحدى شركات الاستثمار ثلاث فرص للاستثمار فى الأسهم . ونظرًا لأن الوضع الاقتصادى غير مستقر وجدنا أن احتمال حدوث تضخم $P_1 = 0.2$، واحتمال حدوث نمو $P_2 = 0.5$، واحتمال حدوث ركود $P_3 = 0.3$. كما دلت الدراسات على أن الأرباح عند بيع الأسهم موضحة فى الجدول كنسب مئوية . والمطلوب إيجاد أفضل البدائل وفقًا لمعيار أكبر قيمة متوقعة .

	$P_1 = 0.2$	$P_2 = 0.5$	$P_3 = 0.3$
البدائل	حالة تضخم	حالة نمو	حالة ركود
a_1	7.0	12.0	8.0
a_2	-2.0	25.0	10.0
a_3	6.5	16.5	8.5

ويمكن حساب العائد المتوقع لكل بديل $E(a_i)$ على النحو التالى :

$$E(a_1) = 8.0\,(0.3) + 12.0\,(0.5) + (7.0)\,(0.2) = \%\ 9.8$$

$$E(a_2) = 10.0\,(0.3) + 25.0\,(0.5) + (-2.0)\,(0.2) = \boxed{\%\ 15.1}$$

$$E(a_3) = 8.5\,(0.3) + 16.5\,(0.5) + (6.5)\,(0.2) = \%\ 12.1$$

يتضح من هذه البدائل أن الحل الأمثل هو البديل الثانى، لأنه يملك أكبر نسبة ربحية متوقعة وهى 15.1%، وذلك على أساس استخدام معيار القيمة المتوقعة للبدائل المختلفة (Expected Pay-off Criterion).

ويمكن استخدام عدّة معايير أخرى مثل معيار القيمة المتوقعة لخسارة الفرص (Expected Opportunity Loss Cirterion)، الذى يُطلق عليه أيضًا معيار الندم (Regret Criterion)، وكذا معيار آخر يُسمى معيار الحالات الأكثر وقوعًا (Most Probable States Criterion). وأفضل البدائل هو البديل الثانى أيضًا بمعيار القيمة المتوقعة لخسارة الفرص، والبديل الثالث بمعيار الحالات الأكثر وقوعًا.

قرارات فى حالات غير مؤكدة (Decision-Making under Uncertainty). قرارات عشوائية، تصنع على أساس معلومات غير مؤكدة، مع عدم إمكانية التنبؤ بالاحتمالات التى قد تحدث بشكل مفاجىء مثل ارتفاع أسعار البترول عام 1973، وعدم وجود معيار وحيد يختار بموجبة أنسب أو أفضل البدائل، بل يوجد عدة معايير كلٌّ له تبريراته الخاصة به، وتعرف رياضيّا بالقرارات العشوائية (Stochastic Decisions).

ويمكن توضيح الفكرة بمثال عددى بسيط. نفترض أن شركة إعلانات لديها ثلاث برامج للإعلان. وتوجد فى السوق ثلاث حالات متوقعة: وهى حالة ارتفاع فى الأسعار S_1، وحالة انخفاض فى الأسعار S_2، وحالة ثبات فى الأسعار S_3. والجدول يبين تقدير الأرباح الممكنة للبرامج الثلاثة.

	الأرباح الممكنة		
البدائل	S_1	S_2	S_3
a_1	3	6	-1
a_2	8	5	4
a_3	-4	7	12

ويمكن حساب أن العائد المتوقع لكل بديل ($E\ a_1$) على النحو التالى :

$$E\ (a_1) = 1/3\ [\ 3 + 6 + (-1)] = 8/3$$

$$E\ (a_2) = 1/3\ [\ 8 + 5 + 4\ ] = \boxed{17/3}$$

$$E\ (a_3) = 1/3\ [(-4) + 7 + 12\ ] = 15/3$$

يتضح من هذه البدائل أن الحل الأمثل هو البديل الثانى لأنه يملك أكبر ربحية متوقعة وهو $17/3$، وذلك على أساس استخدام معيار لابلاس (Laplace Criterion) .

ويمكن استخدام معايير أخرى مثل معيار التشاؤم (Pessimistic Criterion)، ومعيار التفاؤل (Optimistic Criterion)، ومعيار هورويتز(Hurwiez Criterion)، ومعيار سافيج (Savage Criterion). وأفضل البدائل هو البديل الثانى بجميع المعايير ما عدا معيار التفاؤل الذى ينتج عنه أن البديل الثالث هو أفضل البدائل .

وقد أجريت دراسات وبحوث علمية عديدة عن أنسب الأساليب وأفضل الطرق التى تستخدم فى صنع القرارات. فالإدارة العلمية الحديثة تحتاج إلى خبرات تخصصية، ومهارات مميزة، وقدرات مبتكرة، وحواس منبهة، فى صنع القرار المنطقى الرشيد الذى يحتمل أقل قدر ممكن من المخاطر. لذلك تستند الإدارة عامة ـ عند إتخاذ قرار ما ـ إلى عدة أساليب منها : أساليب كيفية، وأساليب كمية، وأساليب علمية .

وعند تطبيق هذه الأساليب، قد يغلب على صانع القرار أسلوب واحد أو أكثر، وذلك تبعًا للحالة أو الموقف الذى يواجهه. ولا يعنى أن هذه الأساليب مطلقة، أو أن لكل صانع قرار أسلوبًا بعينه، وقد يكون لصانع القرار أكثر من أسلوب، ولكن يختلف تبعًا لمجموعة من المبادئ والمفاهيم عن غيره. ويمكن توضيح أساليب صنع القرار على النحو التالى :

أساليب كيفية (Qualitative Approaches). يُصنع القرار بالإحساس والخبرة. فعند الاعتماد على الذكاء الفطرى، والخبرة السابقة، والإحساس الشخصى، عادة ما تؤخذ القرارات بطرق عفوية (Hunch Decisions) .

أساليب كمية (Quantitative Approaches). يُصنع القرار بالفحص والدراسة. فبالبحث عن الحقائق، والجمع للمعلومات، يمكن ترتيب الأفكار للوصول من الأسباب إلى النتائج، مع محاولة إيجاد علاقات تفسر ظواهر المشكلات، ثم الوصول إلى القرار بعد تقويم البدائل، مستخدمًا أساليب بحوث العمليات(Operations Research) .

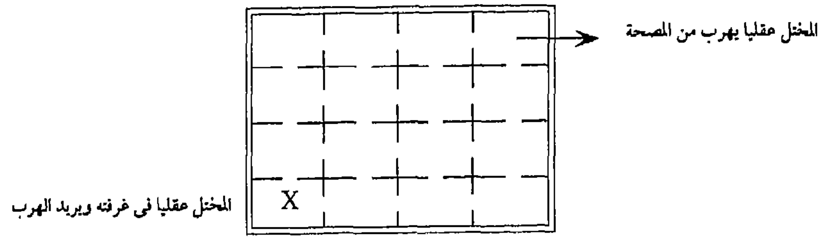
أسـاليب علمـيـة (Scientific Approaches). يُصنع القـرار بمزيج من الدراسـة والإحسـاس، أي مـزج الدراسـة العلمـيـة بالخبـرة العـمليـة. وتجـمـع بيـن الأسـاليـب الكيـفيـة والأساليب الكمـية، مسـتخـدمًا أسـاليب الإدارة العلمية الحديثة (Management Sciences).

أنماط قرارات المنظومات:

أصبحت مشكلات العصر من التعقيد بحيث يصعب معالجتها بنمط معين من التفكير، لأن أي مشكلة تتضمن جوانب عديدة، منها الجانب الاقتصادى أو الاجتماعى أو التقنى أو السياسى أو الإستراتيجى، وكلها مترابطة ومتغيرة بتغير المستوى الثقافى والحضارى والاجتماعى لمجتمع ما، فيصبح من الخطورة بمكان الاعتماد على فرد أو مجموعة صغيرة لا تضم إلا تخصصات وقدرات محدودة لصنع القرار. كما أن القرار الفردى محفوف بالمخاطر، واحتمالات خطئه تعادل احتمالات صوابه، ومن العبث تعريض مصيرما لاحتمال مقداره خمسون بالمائة. ويمكن إبراز بعض الأنماط الأساسية التى تستخدم فى حل المشكلات، وتقديم أمثلة لتوضيح هذه الأنماط، وهى على النحو التالى:

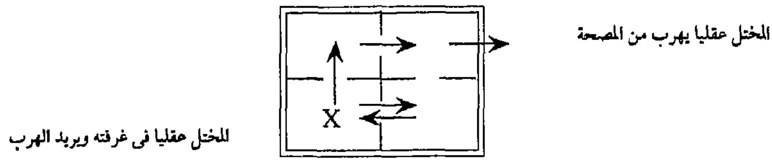
نمط تخليقى (Synthetic Concept). يستـخـدم هذا النمط الأصل مع المهـارية فى ابتكار منظومة مبسطة مشابهة للأصل، محاولاً مواءمتها فى تكوينة واحدة جديدة، مما يساعد على إمكانية التوصل إلى أسلوب المعالجة، حتى يمكن تطبيقه على الأصل، وبذلك يمكن الوصول إلى قرارات منطقية للتطبيق دون مخاطر.

ومثال ذلك أن أحد المختلين عقليّا وُضع فى غرفة منفردة بإحدى المصحات النفسية التى تتكون من 16 غرفة كما فى الشكل رقم (05 - 3)، ويقطن المصحة 16 من المختلين عقليّا، أى أن كل شخص يقطن فى غرفة منفردًا. وكل غرفة لها أبواب مفتوحة على كل الغرف المجاورة. وتصادف أن هذا المختل يقطن فى أقصى غرفة بالمصحة، وهى ما يُرمز إليها بالحرف "x" فى الشكل. وعندما أراد هذا المختل أن يهرب من المصحة، فكر فى فكرة شيطانية، وهى أن عليه قتل نزيل الغرفة التى يمر بها. غير أنه إذا اضطر إلى العودة إلى غرفة ما، ووجد نزيلها مقتولاً فإنه يغمى عليه. والمطلوب إيجاد حل لكيفية هروبه بعد أن يمر فى جميع الغرف، ويقتل نزيل كل غرفة، وبشرط عدم عودته لأى غرفة بها مقتول.

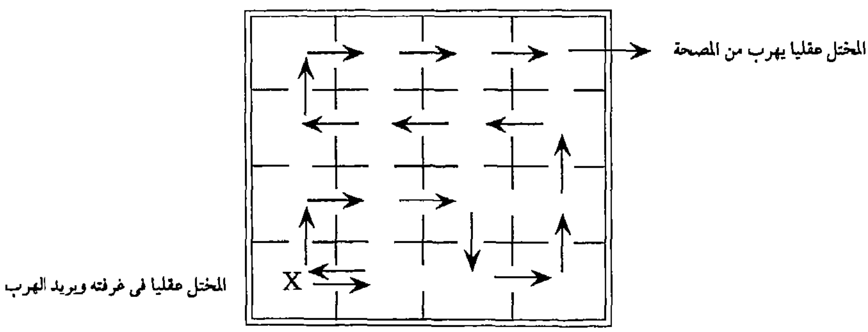


شكل رقم (05 - 3): مبنى مصحة نفسية للمختلين عقليا

وبمحاولة إيجاد حل مباشر لهذه المشكلة المعقدة، فإنه يمكن تخليق مشكلة مشابهة مبسطة كمصحة بها 4 غرف فقط، حتى يمكن أن نهتدى إلى أسلوب الحل بوضوح.



ويظهر جليّا من هذا المثال أسلوب لحل المشكلة. فالفكرة هى أن المختل عقليّا الذى يقطن الغرفة "x" يدخل الغرفة المجاورة، ويقتل نزيل هذه الغرفة، ثم يعود إلى غرفته الخالية، فلن يغمى عليه لعدم وجود أحد بها، ثم يخرج منها إلى الغرفة الأخرى المجاورة ليقتل نزيل هذه الغرفة، ثم ينتقل إلى مدخل المصحة ليخرج منها. فعند تطبيق هذه الفكرة على المشكلة الأصلية، يكون مسار هروب المختل عقليّا من غرفته "x" على النحو التالى:



مع مراعاة أن الفكرة الأساسية هى أن يقتل المختل عقليّا (x) النزيل الذى يقطن الغرفة المجاورة، ثم يعود إلى غرفته الأصلية، ثم يبدأ فى التحرك بعد ذلك من غرفة إلى غرفة أخرى، بشرط عدم العودة إلى أى غرفة كان قد مر بها من قبل.

نمط تحليلى (Analytic Concept). يستخدم هذا النمط المنطق مع المنهجية فى تحليل المعلومات الإحصائية، وتحديد العلاقات الرياضية بين مختلف المتغيرات، واستخدام النظريات الملائمة، حتى يمكن الوصول إلى قرارات رشيدة صالحة للتطبيق دون مخاطر.

ومثال ذلك أن أحد المواطنين يخاف من السفر جواً، وأراد أن يسافر من القاهرة إلى روما عاصمة إيطاليا. وعندما بحث لدى شركات الطيران عن رحلاتها الجوية، وجد أن إحدى شركات الطيران تقدم رحلة بطائرة مزودة بأربعة محركات، ويمكنها أن تطير بثلاثة محركات إذا تعطل أحدها؛ ووجد شركة طيران أخرى تقدم رحلة بطائرة مزودة بمحركين فقط، ولن تتمكن الطائرة من الطيران بأقل من محركين. والمطلوب التعرف على الطائرة الأكثر أمانًا. والشكل رقم (06 - 3) يوضح طائرة مزودة بمحركين وأخرى بأربع محركات.



طائرة بمحركين　　　طائرة بأربعة محركات

شكل رقم (06 - 3): طائرة بمحركين وأخرى بأربع محركات

ويمكن التعرف على الطائرة الأكثر أمانًا، بتحديد المخاطر عند ركوب أى من الطائرتين، وذلك بحساب الاحتمالات لكل منهما على النحو التالى:

احتمال رحلة ناجحة على الطائرة ذات الأربع محركات:

(احتمال رحلة ناجحة) = (احتمال 4 محركات عاملة) + (احتمال 3 محركات عاملة)

$$= p^4 + 4p^3(1-p)$$

احتمال رحلة ناجحة على الطائرة ذات المحركين:

$$\begin{pmatrix}\text{احتمال}\\ \text{رحلة}\\ \text{ناجحة}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{احتمال}\\ \text{محركين}\\ \text{عاملين}\end{pmatrix} = p^2$$

حيث :

p = احتمال عمل محرك واحد

$(1-p)$ = احتمال عطل محرك واحد

وبتبسيط هذه المعادلات ، نصل إلى النتيجة التالية :

$$4p^3(1-p) + p^4 \gtreqless p^2$$

$$3p^2 - 4p + 1 \lesseqgtr 0$$

$$(3p-1)(p-1) \leq 0$$

وبالتالى إما نحصل على العلاقة التالية ، وهذا مستحيل لأن قيمة الاحتمالات لا تزيد عن واحد .

$p \leq 1/3$ و $p \geq 1$

أو على هذه العلاقة ، وهذا ممكن لأن قيم الاحتمالات ما بين الثلث والواحد الصحيح .

$p \geq 1/3$ و $p \leq 1$

وبذلك يمكن أن نستخلص النتيجة من الأسلوب التحليلى على النحو التالى :

* اركب الطائرة ذات المحركين إذا كان $1/3 \leq p \leq 1$
* اركب الطائرة ذات الأربع محركات إذا كان $0 \leq p \leq 1/3$

وهذا يعنى أنه يجب استخدام الطائرة ذات المحركين فى رحلة ناجحة كلما زادت احتمالات النجاح. أما الأسلوب البديهى فهو يستخلص النتيجة التالية :

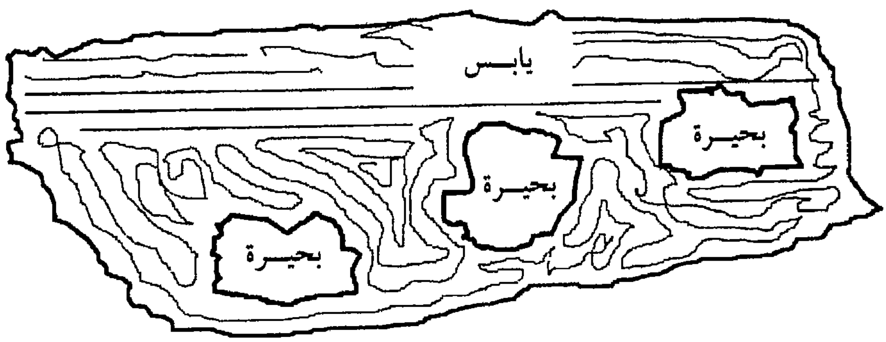
* اركب الطائرة ذات المحركين إذا كان $0 \leq p \leq 1/3$

* اركب الطائرة ذات الأربع محركات إذا كان $1/3 \leq p \leq 1$

أى يجب استخدام الطائرة ذات الأربع محركات فى رحلة ناجحة كلما زادت احتمالات النجاح.

نمط واقعى (Pragmatic Concept). يستخدم هذا النمط الحقائق الموضوعية فى إيجاد الوسائل العملية البسيطة التى تتطلب مجهوداً أقل، ووقتاً أقصر، لاستخلاص النتائج المعقولة، وبذلك يمكن الوصول إلى قرارات واقعية بأقل المخاطر.

ومثال ذلك، توجد خريطة تمثل جزيرة بها عدة بحيرات، والمطلوب معرفة نسبة مساحة المياه إلى مساحة اليابس الموضحة فى الشكل (07 - 3).



شكل رقم (07 - 3): جزيرة مكونة من يابس وبحيرات

وبمحاولة إيجاد طريقة للحصول على نسبة مساحة المياه إلى مساحة اليابس، يمكن استخدام إحدى هذه الطرق العملية البديلة، وهى على النحو التالى :

* تستخدم عجلة معدنية، وتمريرها على محيط كل بحيرة ثم على محيط الجزيرة، واحتساب النسبة على أساس أطوال محيطات كل من الجزيرة والبحيرات.

* يستخدم ورق مربعات شفاف، وتوضع على الخريطة، ثم حساب عدد

المربعات لكل مساحة من مساحات البحيرات ومساحة الجزيرة، وبذلك يمكن حساب نسب المربعات.

* يستخدم صاج خفيف من الصلب معروف كثافته، ويشكل على هيئة إطار الجزيرة، ثم تُفرَّغ «الشابلونة» من مساحات البحيرات، وتوزن «شابلونة» الجزيرة مفرغة من البحيرات، وتوزن «شابلونات» البحيرات الناتجة من تفريغ «الشابلونة» الرئيسية، ثم تحسب النسبة.

* يستخدم بندول يتحرك يمينًا حتى آخر الجزيرة من جهة وشمالاً حتى آخر الجزيرة من الجهة الأخرى، ثم يقاس الوقت بمعرفة الزاوية وطول عمود البندول.

أما الحل العملى السريع، فهو يتمثل فى تعليق خريطة الجزيرة على الحائط، ويمكن توضيح ذلك فى الشكل رقم (08 - 3).



شكل رقم (08 - 3): لوحة التصويب بالسهام

ويبتعد الشخص عن الخريطة حوالى ثلاثة أمتار، ويرمى عدَّة أسهم فى تجاه الخريطة بطريقة عشوائية، ثم يعد عدد السهام التى انغرزت فى اليابس، وعدد السهام التى وقعت فى البحيرات، وبالتالى يحسب النسبة.

الجـزء الثانى
نمذجة المنظومات العلمية

الباب الرابـــع : نمذجة تخطيط المنظومات

الباب الخـامس : نمذجة تنظيم المنظومات

الباب السـادس : نمذجة تحليل المنظومات

الباب السـابـع : نمذجة تحكم المنظومات

نمذجة المنظومات العلمية ما هى إلا تعبير صادق عن طبيعة وخصائص تكوين منظومات معينة بنماذج وصفية أو وظيفية. ويمثل بناء وتطوير النماذج أساس وجوهر الإدارة العلمية عامة، وبحوث العمليات خاصة. والمقصود بالنموذج تمثيل مبسط وتقريبى للواقع. والنماذج ـ التى هى العمود الفقرى للطريقة العلمية لمعالجة المشكلات ـ تصف كيفيًا أسس العوامل والمشاهدات التى تؤثر فى سلوك الواقع، وتصف كميًا العلاقات والقياسات التى تعبر عن متغيرات المنظومة. وتستخدم هذه المشاهدات والقياسات من الواقع لتكوين نموذج مبدئى، ثم تُجرى عليه الاختبارات والتحليلات لمقارنته بسلوك الواقع الحقيقى. وبناء على ذلك، تُجرى على هذا النموذج بعض التعديلات الملائمة، ويتكرر ذلك حتى يتوافق النموذج النهائى مع الواقع.

وتستخدم النماذج فى وصف مجموعة من الأفكار، وتقييم نشاط معين، وتنبؤ بسلوك منظومة معينة حتى قبل بناء النموذج وتكوينه، وبذلك يمكن توفير الجهد والوقت والتكلفة، وهذا يساعد على الوصول للتصميم الأمثل بدون حاجة إلى بناء الواقع بحجمه الطبيعى، ويعمل على تجنب أسباب الفشل الباهظة التكاليف، ويؤدى إلى التوصل لطرق تحسين الأداء فى مختلف المنظومات. ويعتمد بناء المنظومات التى تمثل نشاطات جديدة اعتمادًا مباشرًا على قدرة الإنسان فى التحكم فى بيئته، وعلى إمكانياته فى تشكيل أو إيجاد نماذج لأنماط أنشطة الحياة المختلفة التى تتميز بها تلك البيئة.

وبناء النموذج يُعَدّ وسيلة مهمة لرؤية الواقع. فمحاولة وصف واقع ما، هى إعداد نموذج لهذا الواقع، واستخدام الحواس لتجميع معلومات عن العالم الحسِّى له، حتى يتوصل إلى معرفة هذا الواقع، وتخير الملامح التى تكوِّن النموذج الفعلى.

وتحضرنى قصة قديمة عن محاولة وصف الفيل. فقد جاء فى كتاب «مدخل الهندسة» ـ تأليف فريق من الأساتذة بالجامعات الأمريكية، وتعريب فريق من أساتذة جامعة الملك عبد العزيز بالمملكة العربية السعودية ـ قصيدة تحكى قصة نموذج الفيل مع رجال فاقدين نعمة البصر منذ ولادتهم، وهى ـ مع بعض التصرف ـ على النحو التالى:

لقد كان ستة من هندوستان . . يحبون التعليم فى كل آن . . وبرغم أنهم من العميان . . فإنهم ذهبوا ليروا الفيل . . ويتحسسوه بالدليل .

فاقترب أولهم من الفيل . . ولمس جوانبه العراض الكبار . . فصاح مؤكدًا أن الفيل مثل الجدار .

وتحسس الثانى نابه . . وشكله الأسطوانى الحاد . . وقال إن الفيل مثل الحربة . . وإنه فى ذلك حازم وجاد .

وجاء الثالث فى هدوء واتزان . . وأمسك بخرطوم الفيل . . وقال إنه كثعبان .

وأما الرابع فقد تحسَّس الساق . . وقال أما أنا فإننى الفائز فى السباق . . إنه كشجرة ضخمة ذات أوراق .

وأمسك الخامس بأذن الفيل . . وقال إنه كمروحة وها هو ذا الدليل .

ولم يصل السادس إلا إلى الذيل . . فقال إن الفيل ليس إلا كالحبل . . وقولى ذلك هو القول الفصل .

ثار الجدل عنيفًا فى نقاش وصياح . . وكل فى رأيه صاحب الحق الصراح . . وهكذا هؤلاء كانوا كلهم جهلاء . . أصابوا شيئًا وغابت عنهم أشياء . . علموا قليلاً فظنوا أنهم علماء .

هذه القصيدة رمزية وموجهة إلى الإنسان فى كل زمان ومكان . ذلك المخلوق المغتر المتكبر الذى لا يكاد يصل إلى شىء من علم قليل ، حتى يظن أنه أصبح سيد الثقلين ، وملك الخافقين ، فيأيها الإنسان يا بن التراب :

العلم للرحمن جل جلاله وسواه فى جهلاته يتغمغم
ما للتراب وللعلوم وإنما يسعى ليعلم أنه لا يعلم

لقد كان كل شخص من هؤلاء الستة على حق من وجهة نظره الخاصة بشكل الفيل . أما فى مجموعهم فقد كانوا مخطئين ، حيث كوَّن كل منهم نموذجًا أو وصفًا بعد استطلاع «الواقع الحى» . ولكن جميع هذه النماذج أخطأت فى الوصول إلى النتيجة النهائية الصحيحة ، وذلك لعدم اكتمال الاستطلاعات والفحوص والملاحظات والمشاهدات وملاءمتها بعضها لبعض .

ولتقريب مفهوم نمذجة المنظومات إلى ذهن القارئ، نستعرض تاريخ بحوث العمليات متضمنًا نشأة وممارسة ومساهمة بحوث العمليات قبل وخلال وبعد الحرب العالمية الثانية على التوالى؛ ونماذج بحوث العمليات متضمنًا مختلف النماذج الرياضية والإحصائية والعشوائية؛ وتطبيقات بحوث العمليات متضمنًا مختلف القطاعات الإنتاجية والخدمية والبيئية.

تاريخ بحوث العمليات:

بحوث العمليات ما هى إلا استخدام النمذجة الرياضية لتمثيل منظومات التشغيل لمشكلات واقعية. وبالرغم من أن هناك إنجازات ضخمة فى مجالات التطورات النظرية والتطبيقات العملية لبحوث العمليات، فإن هناك أيضًا نقدًا واضحًا لتقصير بعض باحثى العمليات فى الاهتمام بالتطبيقات والآثار الناتجة عن هذه التطبيقات، ومحاولة بعضهم وضع المشكلات الواقعية فى قالب نماذج رياضية نمطية لا تتناسب بالضرورة مع احتياجات معالجة هذه المشكلات. وبالرغم من أن الرياضيات وسيلة أنيقة لاختزال تعقد المشكلات، فإن لها حدودًا معينة، وذلك لوجود كثير من المشكلات التى لم تخضع للتوصيف الرياضى.

وقد شجع تطور قدرات الحاسبات باحثى العمليات على التمثيل الدقيق للمشكلات الواقعية، حتى لو نتج عن هذا نماذج رياضية معقدة. كما تصور باحثو العمليات أن القدرة الحسابية الفائقة للحاسبات نتيجة السرعة الهائلة، ووسائل التخزين ذات السعة الكبيرة، ستساعد على حل كثير من هذه النماذج الرياضية المعقدة، اعتقادًا منهم بأن الحاسب بسرعته الهائلة وسعته الفائقة، قادر على توليد جميع البدائل الممكنة (Exhaustive Enumeration) لحل مشكلة ما، وإجراء المقارنة بين هذه البدائل وفقًا لمعايير محددة، واختيار أمثل البدائل للوصول إلى حل أمثل للمشكلة رهن الدراسة. ولكن للأسف، ينمو عدد هذه البدائل بمعدل متزايد للغاية يصعب تصورها. وكلما تعقدت المشكلات أو النماذج، زاد عدد البدائل المحتملة، والتى عادة ما تتضخم بمعدل أسِّى، وهى تعرف بانفجار الترابطات (Combinatorial Explosion)، مما يتطلب اللجوء إلى حساب التباديل والتوافيق، أو طرق الاحتمالات والإحصاء، أو أساليب النمذجة الرياضية كنماذج البرمجة الخطية (Linear Programming Models)، ونماذج الشبكات الخطية (Network Analysis Models).

ومن السهولة التعرف بدقة على مجريات الأحداث التى أدت إلى ظهور بحوث العمليات، حيث إن تطور هذا التخصص مُوثق توثيقًا جيدًا، لقرب العهد ببدايته ونشأته

فى المجـال العـسكرى. لذلك فـإنه يمكن تسلسل الأحـداث التى أدت إلى نشـأة بحـوث العمليات، وتطور تطبيقاتها العملية قبل وأثناء الحرب العالمية الثانية فى كل من بريطانيا وأمريكا، ثم انتشارها فيما بعد لتغطى العديد من المجالات المدنية. وسنتناول الأحداث والنشاطات الخاصة بنشأة بحوث العمليات قبل الحرب العالمية الثانية، ومساهمة بحوث العمليات خلال الحرب العالمية الثانية، وممارسة بحوث العمليات بعد الحرب العالمية الثانية، وهى على النحو التالى:

نشأة بحوث العمليات. نتناول الأحداث المهمة التى أدت إلى نشأة بحوث العمليات قبل الحرب العالمية الثانية، أى خلال السنوات (1933- 1939)، وهى ابتداء من تولى Adolf Hitler مقاليد الحكم فى ألمانيا وحتى انفجار الموقف وبدء الحرب العالمية الثانية. ونسرد هذه الأحداث كما يرويها أحد العلماء الذين شاركوا فى هذه الدراسات، إذ قدم (1984) Harold Larnder صورة مختصرة عن أنشطة بحوث العمليات قبل وخلال السنوات الأولى للحرب، حيث ساهمت دراسات بحوث العمليات فى انتصار بريطانيا على ألمانيا. ونسرد الأحداث والنشاطات خلال ما قبل نشوب الحرب، وهى على النحو التالى:

* فى عام 1933، لم تكن ألمانيا تمتلك حينئذ القوة الجوية لمهاجمة بريطانيا، كمالم يكن لدى بريطانيا دفاع جوى ضد هجمات ألمانيا الجوية، وبخاصة أن الجزر البريطانية تبعد حوالى 125 كيلومتراً عن الساحل الألمانى التى تستغرق 17 دقيقة طيران فقط.

* فى عام 1934، انصرف الألمان إلى بناء قوتهم الجوية، بينما عجزت بريطانيا عن إيجاد حل لمشكلتهم الأساسية للإنذار المبكر. فكوّن سلاح الجو البريطانى لجنة برئاسة Henry Tizard لمراجعة الوسائل العلمية للدفاع الجوى ضد الطائرات المعادية. وقد اتجهت اللجنة نحو البحث فى إمكانية تطوير شعاع الموت لاستخدامه فى شل قدرة قائد الطائرة.

* فى عام 1935، دُعى Robert Watson Watt للقيام بدراسة لتطوير وسيلة بالراديو لتحديد موقع الطائرة المعادية، وبدأت التجارب التى بها أمكن التوصل إلى مدى يصل حتى 68 كيلومتراً لطائرات معلومة الموقع.

* فى عام 1936، أنشأت وزارة الطيران البريطانية محطة للأبحاث تضم مركزاً لجميع

تجارب الرادار، وتم تحسين قدرات أجهزة الرادار، حتى أمكن كشف الطائرات على بعد حوالى 180 كيلومتراً.

* فى عام 1937، أقيمت تدريبات على الدفاع الجوى، وقد توصل الباحثون على نتائج مرضية فيما يتعلق بالإنذار المبكر، ولكن لوحظ قصور فى معلومات المتابعة الناتجة من الرادار.

* فى عام 1938، ظهرت الجدوى الفنية لاستخدام نظم الرادار فى الكشف عن الطائرات المعادية، إلا أن قدراته التشغيلية عجزت عن الإيفاء بمتطلبات الدفاع الجوى. فتوجهت البحوث فوراً نحو الاعتبارات التشغيلية بدلاً من العوامل التقنية للنظام، وخرج الاصطلاح «بحوث العمليات» أى (Operational Research) إلى حيز الوجود. وتشكَّل فريق من بين علماء الرادار تحت قيادة E.G. Williams، وفريق آخر تحت قيادة G.A. Roberts. وفى صيف نفس العام، أجريت مناورات الدفاع الجوى، وأثبتت نجاح طرق تشغيل نظام المراقبة والإنذار للدفاع الجوى. ومما هو جدير بالذكر، أنه طُلب من تشرشل رئيس وزراء بريطانيا الذى كان سيقابل هتلر آنذاك فى ميونخ أن يبذل أقصى ما فى وسعه لتفادى الحرب مع ألمانيا فى ذلك العام.

* فى عام 1939، قامت بريطانيا بإجراء آخر مناورات الدفاع الجوى قبل اندلاع الحرب. وقد أثبتت هذه المناورات نجاح طرق تشغيل نظام المراقبة والإنذار للدفاع الجوى. وطلب مارشال الجو Hugh Dowding قائد قيادة المقاتلات إلحاق أعضاء الفريقين بمقر قيادته تحت مظلة إدارة جديدة، سميت فيما بعد «قسم بحوث العلميات».

مساهمة بحوث العمليات. نتناول الأحداث المهمة التى ساهمت فى نشر بحوث العمليات فى أثناء الحرب العالمية الثانية، أى خلال السنوات (1939-1945)، والتى أدت إلى انتصار الحلفاء على المحور. وقد أشار تقرير وزارة الجو البريطانية الذى صدر بعد عشرين عامًا من انتهاء الحرب إلى: «أن الكفاءة العالية لمحطات الرادار التى تم التوصل إليها فى وقت معركة بريطانيا ترجع إلى حد كبير إلى قيام إدارة بحوث العمليات بتحليل كل حالة من حالات الفشل فى اعتراض الغارات النهارية تقريبًا». ونسرد الأحداث والنشاطات خلال سنوات الحرب العالمية الثانية، وهى على النحو التالى:

* فى عام 1939، تركزت هجمات الألمان الجوية ضد بريطانيا ابتداء من خريف هذا العام وشتاء وربيع العام التالى فى اختراقات قصيرة فوق الساحل الشرقى بواسطة

تشكيلات صغيرة لضرب السفن الخفيفة، وزرع الألغام البحرية من الجو. وقد اتسعت دراسات إدارة بحوث العمليات لتشمل تغذية نظام المراقبة والإنذار بالمعلومات، لاستنفار وتجهيز الطائرات المقاتلة الدفاعية.

* فى عام 1940، صَعَّد الألمان من هجماتهم ضد فرنسا، مما استدعى طلب فرنسا الاستعانة بأسراب المقاتلات البريطانية، وكان تشرشل يميل إلى الاستجابة إلى طلب فرنسا، ولكن الدراسات التى أجرتها إدارة بحوث العمليات حذَّرت من ذلك، وتمكن المارشال Hugh Dowding من إقناع مجلس وزراء الحرب بالتوصية بعدم الاستجابة إلى طلب فرنسا، لأنها قد تقضى على القوة الجوية البريطانية. وكان هذا العام نقطة تحول مهمة فى تطبيق بحوث العمليات فى الحرب، إذ طُلب من إدارة بحوث العمليات القيام باستشراف نتائج عمليات مستقبلية وأثرها على السياسات المختارة.

* فى عام 1941، تم الاعتراف رسميًا بالمصطلح «بحوث العمليات»، وأنشئت عدَّة أقسام مماثلة فى باقى قيادات سلاح الجو الملكى. ولقد نوَّه المارشال Hugh Dowding بأهمية بحوث العلميات بقوله: «إن هذه الحرب سيتم كسبها بالتطبيق المنطقى للعلم على احتياجات العمليات». فقد ساهمت بحوث العمليات بإنجازين رئيسين ومهمين نحو النصر فى هذه المعركة وهما: الاستخدام الأمثل لنظام الإنذار والمراقبة للتصدى للطائرات الألمانية المهاجمة؛ والقرار الخاص بإيقاف إرسال أسراب المقاتلات البريطانية إلى فرنسا.

أما فى أمريكا، فقد بدأ فى هذا العام تشكيل مجموعة بحوث العمليات برئاسة العالم الأمريكى Philip Morse الذى كان يعمل أستاذًا فى معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT)، وقامت بدراسة بحثية للتعرف على الضوضاء الناتجة عن السفن تحت المياه لاستخدامها فى تصميم جهاز يخرج نفس الضوضاء، يمكن سحبه ليؤدى إلى انفجار الألغام الصوتية دون حدوث أضرار بالسفينة، وقد تم إنجاز المشروع بنجاح.

* فى عام 1942، أراد Philip Morse القيام بالدراسات المتعلقة بالقرارات التشغيلية (Operational Decisions)، فتم تكوين فريق عمل من أساتذة الجامعات للمساعدة فى تحليل الدفاعات المضادة للغواصات. وقد أدت هذه الدراسات إلى زيادة عدد غواصات العدو المصابة، وزيادة عدد الغواصات الغارقة بحوالى خمسة أضعاف، فانتشرت سمعة

فريق العمل هذا بسبب إنجازاته وقدراته. وتطورت مجموعة بحوث العمليات فى وحدة الحرب المضادة للغواصات لتصبح وحدة بحوث العمليات بالبحرية الأمريكية بكاملها.

* فى عام 1943، دُعى عدد كبير من العلماء المدنيين وأساتذة الجامعات الأمريكية لتطبيق الأساليب العلمية فى معالجة المشكلات التى تحدث فى مسرح المعارك الحربية. كما استخدمت فى إيجاد أمثل توزيع للموارد النادرة فى ذلك الوقت على مختلف الأنشطة العسكرية إلى أن انتهت الحرب العالمية الثانية.

وقد قدَّر عدد العلماء العاملين فى بحوث العمليات فى أثناء الحرب بحوالى 700 باحث فى بريطانيا وأمريكا وكندا. واشتمل نشاطهم على كثير من دراسات التخطيط الإستراتيجى، وتقويم النتائج التكتيكية، وتحليل نظم التشغيل. وقد انطوى الكثير من دراسات بحوث العمليات فى أثناء الحرب على تطويع طرق ومنهجيات بعض العلوم الأخرى، ثم تطويرها مباشرة لمعالجة مشكلات تشغيلية.

ممارسة بحوث العمليات. نتناول الأحداث المهمة عند ممارسة بحوث العمليات بعد انتهاء الحرب العالمية الثانية، أى خلال السنوات (1945 ـ 1975). وعلى الرغم من أن بحوث العمليات بدأت ـ كما أسلفنا ـ فى المجال العسكرى، فإن مركز الثقل لاهتمامات باحثى العمليات انتقل بوضوح إلى المجالات المدنية فى مختلف الهيئات والمؤسسات والشركات. واتضح النمو المطَّرد فى مجموعات المتخصصين المهتمين بالعلوم الإدارية، وهو تخصص ـ فى رأيى الشخصى ـ أعم من بحوث العمليات.

فمع نهاية الحرب العالمية الثانية، كان العلماء فى عجلة للرجوع إلى مؤسساتهم وجامعاتهم، وبدأ هؤلاء العلماء فى استنباط عدة نظريات رياضية، وتطوير عدة أساليب كمية لمعالجة المشكلات فى المؤسسات والشركات المدنية. وشهدت الدول الصناعية المتقدمة مجهودات مكثفة فى نمو تطبيقات بحوث العمليات غير العسكرية، وتوسع فى تحليل المنظومات العلمية. وقد أجمع الممارسون والمهنيون فى هذا المجال على أن بحوث العمليات هو علم مستقل يتناول تطبيق المنهج العلمى لفهم وتفسير ظواهر التغير الذى قد يطرأ فى منظومات التشغيل، الأمر الذى سوَّغ ظهور جمعياتها المهنية ودورياتها العلمية فى مختلف الأقطار والدول، ومناهجها الأكاديمية ودرجاتها العلمية فى مختلف الجامعات والمعاهد، وبرامجها التدريبية وأنشطتها التخصصية فى مختلف المؤسسات والشركات. ونسرد النشاطات والتطبيقات التى حدثت بعد الحرب العالمية الثانية فى مجال بحوث العمليات، وذلك على النحو التالى:

* في عام 1946 ، قام Philip Morse الأمريكي بإنشاء لجنة لبحوث العمليات ، بعد عودته إلى معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT)، ثم تطورت هذه اللجنه لتصبح مركز بحوث العمليات في ذلك المعهد، وظلت تحت رئاسته أكثر من عشرين عامًا. كما نظم وشارك في تقديم العديد من الدورات الصيفية القصيرة في بحوث العمليات.

* في عام 1949 ، أنشأ مجلس البحوث القومي البريطاني لجنة لبحوث العمليات، بغرض تعزيز الاهتمام ببحوث العمليات غير العسكرية، ثم أصدرت اللجنه منشوراً بعنوان «بحوث العمليات مع إشارة خاصة إلى التطبيقات غير العسكرية».

* في عام 1950، اتفق مجموعة من العلماء الذين شاركوا في التطور الناجح لبحوث العمليات ببريطانيا في أثناء الحرب العالمية الثانية على تكوين نادي بحوث علمية بهدف تقديم إطار مستمر لتبادل الخبرات، ومناقشة استخدامات بحوث العمليات في كثير من المنظومات التصنيعية والخدمية. وأصدر هذا النادي دورية بحوث العمليات الربع سنوية (Operational Research Quarterly) وظهر أول أعدادها في شهر مارس من نفس العام.

* في عام 1951 ، أصرّ Philip Morse على أن تتم مرحلة انتقال العلماء إلى جامعاتهم وهيئاتهم بصورة منتظمة، وذلك بحصر جميع الإنجازات التي تمت في أثناء الحرب وتسجيلها في تقارير علمية وتقويم عمليات البحرية الأمريكية التشغيلية.

* في عام 1952 ، تكونت في الولايات المتحدة الأمريكية جمعية بحوث العمليات الأمريكية (Operations Research Society of America, ORSA) برئاسة Philip Morse، وعلى الرغم من أن هذه الجمعية أمريكية الأصل، فإنها تحوى أعضاء من أكثر من 70 دولة. وعقد المؤتمر الأول لبحوث العمليات في شهر نوفمبر من نفس العام، كما صدر العدد الأول من دورية بحوث العمليات في نفس الشهر.

* في عام 1953، أنشئ في الولايات المتحدة الأمريكية معهد العلوم الإدارية كجمعية دولية (The Institute of Management Science, TIMS)، وكان معظم أعضائها من الولايات المتحدة الأمريكية، وأصدرت دورية العلوم الإدارية (Management Sciences)، وخرج العدد الأول في شهر سبتمبر من العام التالي.

* في عام 1954، تحوّل نادي البحوث العلمية البريطاني إلى جمعية بحوث العمليات

(Operational Research Society of Britain, OR) لينضم إليها الباحثون والعاملون في مجالات بحوث العمليات.

* في عام 1955، قام Philip Morse بمسح شامل لأحوال بحوث العمليات ووجه الأنظار إلى ضرورة زيادة الاهتمام بالنظريات الأساسية والتجارب التشغيلية، بالإضافة إلى تدريب عاملين جدد في حقل بحوث العمليات. وهكذا ازدادت الدراسات النظرية بصورة ملحوظة خلال العقود الماضية، وقد لوحظ أن هناك تشتتًا واضحًا في التطبيقات الخاصة بمنظومات التشغيل.

* في عام 1956، صدرت دورية علمية فرنسية، ثم تبعتها دورية علمية ألمانية، وظهرت معظم الدوريات العلمية في مختلف الدول خلال السنوات العشر التالية.

* في عام 1957، بدئ في تنظيم وتقديم دورات تدريبية قصيرة في كثير من الدول المتقدمة، تبعتها برامج تعليمية ومناهج دراسية في عدة جامعات بالولايات المتحدة الأمريكية وبعض الدول الأخرى.

* في عام 1959، كونت جمعيات بحوث العمليات البريطانية والأمريكية والفرنسية اتحادًا (International Federation of Operational Research Societies, IFORS) خلال شهر يناير، وأصبح هذا الاتحاد يضم ما يزيد عن 45,000 عضوًا. وقد أنشئت أكثر من 20 جمعية قطرية لبحوث العمليات في الأعوام المتتالية.

* في عام 1960، تأسست دورية علمية دولية تضم ملخصات مقالات بحوث العمليات المنشورة في مختلف الدوريات العلمية من جميع أنحاء العالم (International Abstracts in Operations Research, IAOR).

* في عام 1972، أجرى مسح شامل عن استخدامات وسائل بحوث العمليات في 107 من أكبر الشركات الصناعية بأمريكا، فوجد أن البرمجة الخطية، ونظم المحاكاة، والتحليل الإحصائي تُمثِّل أكثر وسائل بحوث العمليات شيوعًا.

* في عام 1973، وصلت عدد المناهج الدراسية التي قدمت في الجامعات الأمريكية إلى أكثر من 53 برنامجًا في بحوث العمليات، بالإضافة إلى أن دولاً كثيرة أظهرت نموًا مشابهًا في تقديم برامج دراسية في مجال بحوث العمليات.

* في عام 1975، أجرى مسح آخر على 167 من أكبر الشركات الصناعية الأمريكية، فوجد أن هذه الشركات استخدمت 7 من أساليب بحوث العمليات،

وتوصلت إلى أن الأكثر تطبيقًا هو البرمجة الرياضية، ونظم المحاكاة، والطرق الإحصائية، كما ظهر فى المسح السابق.

وانتشرت الأبحاث فى بحوث العمليات بتطبيق ما تم استنباطه خلال الحرب العالمية الثانية لمعالجة المشكلات العسكرية على مختلف الأنشطة المدنية، واستنباط أساليب علمية أخرى، وتحديد البدائل الممكنة لمعالجة المشكلات الناجمة عن إدارة هذه المنظومات وتقديم الحلول المناسبة. وقد تركت بحوث العمليات بصمات واضحة على كفاءة إدارة العديد من الهيئات والمؤسسات. واستمرت تطبيقات بحوث العمليات فى النمو سواء فى تنوعها أو فى عددها. وباستثناء التقدم الهائل فى تكنولوجيا الحاسبات والاتصالات والمعلومات، فإن هذا النمو والتطور فى بحوث العمليات وتطبيقاتها لا يضاهيه أى تطورات حديثة أخرى.

وعلى الرغم من التطور المطّرد فى بحوث العمليات دوليًا، فإن العالم العربى لم يلحق بالركب إلا أخيرًا، وذلك باستثناء بعض الدراسات الأولية بمعهد التخطيط القومى، ومعهد الإدارة العليا بجمهورية مصر العربية فى نهاية الخمسينيات، باستخدام نماذج البرمجة الرياضية فى التخطيط الاقتصادى والصناعى.

وفى صيف عام 1972، دعت مؤسسة فورد الأمريكية ـ عن طريق الأستاذ الدكتور أحمد عبادة سرحان عميد معهد الدراسات والبحوث الإحصائية بجامعة القاهرة آنذاك ـ مجموعة صغيرة من العلماء الأمريكيين من أصل عربى ـ منهم الأساتذة الدكاترة صلاح الدين المغربى، وحمدى طه، وتوماس ساعاتى، والمؤلف ـ لتقديم علم بحوث العمليات لأول مرة فى مصر، وإلقاء سلسلة من المحاضرات العلمية، والقيام بكثير من الاستشارات لعديد من الصناعات المصرية فى بحوث العمليات، وعقدت جلسات قدح الذهن (Brain Storming Sessions) فى مؤسسة الأهرام بحضور هؤلاء الاستشاريين لمناقشة عدّة مشكلات قومية ومحلية وتقديم الحلول الممكنة؛ وقد طُلب من العلماء ذوى الأصل المصرى مقابلة كبار القوات العسكرية المصرية للتعرف على مدى وإمكانية مساهمة بحوث العمليات فى الحرب مع إسرائيل، كما دعا الأستاذ محمد حسنين هيكل رئيس مجلس إدارة الأهرام آنذاك كلا من الأستاذ الدكتور توماس ساعاتى والمؤلف لإجراء تقويم شامل لحالة «اللاحرب واللاسلم». فى جلسة مغلقة تضم سبعة سياسيين وإعلاميين مرموقين.

وقد أعطى نشاط هذه المجموعة دفعة قوية، وأثار اهتمامًا كبيرًا ببحوث العمليات بمصر نتج عنه إنشاء أول جمعية مصرية لبحوث العمليات، وفى بداية السبعينيات أدخلت

مبادئ بحوث العمليات فى بعض البرامج الدراسية بكليات الهندسة، وكليات التجارة، وكليات العلوم، ومعهد الدراسات والبحوث الإحصائية بالجامعات المصرية. وانتشرت دراسات بحوث العمليات فى العديد من الهيئات والمؤسسات والشركات المصرية، كما أُجرى العديد من الدراسات فى تطبيقات بحوث العمليات بالقوات المسلحة المصرية ظهرت جدواها ونتائجها فى حرب أكتوبر المجيدة عام 1973.

وبافتتاح العديد من أقسام الهندسة الصناعية بكليات الهندسة فى جامعات مصر، والسعودية، وليبيا، والأردن، والكويت، انتشرت برامج بحوث العمليات الدراسيةفى الجامعات العربية. وقد تم الاستعانة ببحوث العمليات فى معالجة كثير من المشكلات التشغيلية فى شركات النفط بالدول العربية فى بداية الستينيات خاصة، وفى المجالات الاقتصادية والصناعية والزراعية والتجارية والمالية والخدمية فى كثير من البلاد العربية عامة.

نماذج بحوث العمليات:

بحوث العمليات ما هى إلا استخدام المنهج العلمى لفهم وشرح ظواهر التغير فى مجال منظومات التشغيل، وذلك بتسجيل ظواهر هذه المنظومات، وتطوير نماذج هذه الظواهر، وتطويع بعض النظريات لتقدير ما يحدث تحت ظروف متغيرة، ثم التحقق من دقة هذه التقديرات بمقارنتها بشواهد وقراءات وملاحظات ميدانية جديدة، وتستمر هذه العملية بهدف إيجاد وسائل تحسين كفاءة منظومات التشغيل الجارية والمستقبلية. وقد ولد علم بحوث العمليات لحاجة ملحة إلى معالجة مشكلات تشغيلية فى منظومات عسكرية.

ويعزو الرواد الأوائل فى مجال بحوث العمليات حداثة ما يقومون به من دراسات علمية إلى ما يتعلق بظاهرة منظومات التشغيل. وقد انتقلت اهتمامات باحثى العمليات بوضوح بعيداً عن التطبيقات العسكرية، بعد أن تركت بصمات واضحة على كفاءة هذه المنظومات. وبدأ النمو المطّرد فى تطبيقات بحوث العمليات فى المجالات المدنية، وهكذا ازدادت الدراسات النظرية بصورة ملحوظة، واستمر التوسع فى تحليل منظومات التشغيل فى العقود الماضية، حيث أمكن استخدام بحوث العمليات كمنهج جديد يمكن تطبيقه لتحسين أداء مختلف عمليات التشغيل.

وقد أدت النماذج الرياضية دوراً مهما فى تمثيل منظومات عملية لمشكلات واقعية. وفيما يلى وصف مختصر لبعض هذه النماذج النمطية:

نماذج البرمجة الرياضية (Mathematical Programming Models). تُعَدّ نماذج البرمجة الرياضية عامة من أكثر فروع بحوث العمليات تطوراً، وأنجح فروع الإدارة العلمية تطبيقًا. ويرجع التطور والنجاح الحالى إلى تقدم قدرات الحاسبات الآلية من حيث السرعة الحسابية الفائقة، والسعة التخزينية الهائلة. والبرمجة الرياضية تُمثّل مشكلات الأمثلية من تعظيم أو تصغير دالة الهدف التى تعتمد على عدد معين من المتغيرات كمدخلات. وقد تكون هذه المتغيرات مستقلة بعضها عن بعض، أو متعلقة بعضها ببعض من خلال مجموعة من القيود. والعلاقة بين هذه المتغيرات قد تكون خطية أو تربيعية أو غير خطية. ونعطى نبذة مختصرة عن هذه النماذج على النحو التالى:

* **نموذج البرمجة الخطية** (Linear Programming Model). تتميز هذه النماذج بتنوع تطبيقاتها. وتستخدم فى إيجاد أمثل الحلول التى تقرر كيفية توزيع الموارد المتاحة بشكل يناسب الطاقة الإنتاجية، وهى ليست إلا عملية تخصيص عدّة موارد لعدة أنشطة. ويتكون نموذج البرمجة الخطية من دالة هدف (Objective Function) تُمثّل إما تكلفة الموارد المستخدمة، فيهدف النموذج إلى تصغيرها (Minimization)؛ وإما تُمثّل ربحية الأنشطة المنتجة، فيهدف النموذج إلى تعظيمها (Maximization). ويعمل أسلوب البرمجة الخطية على اختيار الحل الأمثل الذى يُعظّم أو يُصغّر دالة الهدف فى ظل مجموعة من القيود (Constraints) التى تحدد الخيارات الممكنة. وتتفرع من نموذج البرمجة الخطية عدة نماذج على النحو التالى.

* **نموذج البرمجة صحيحة العدد** (Integer Programming Model). تُعَدّ هذه البرمجة من البرامج الخطية التى تكون فيها المتغيرات من المدخلات أعداداً صحيحة. وتستخدم هذه البرامج عندما يطلب أن يكون الحل الأمثل أعداداً صحيحة، كاتخاذ قرار بخصوص تحديد عدد السيارات المنتجة. ومن الجدير بالذكر، أن استخدام البرمجة الخطية العامة مع تقريب الحل إلى الأعداد الصحيحة لا يُعَدّ حلاً أمثل.

* **نموذج البرمجة ثنائية العدد** (Zero-One Programming Model). تُعَدّ هذه البرمجة من البرامج الخطية التى يطلب فيها أن يكون الحل الأمثل فى صيغة صفر أو واحد. وتستخدم هذه النماذج فى تطبيقات عديدة، كاتخاذ قرار بنعم أو لا.

* **نموذج النقل الخطى** (Transportation Programming Model) . تُعَـــدّ هذه البرمجة صيغة خاصة من صيغ البرمجة الخطية . وتهدف هذه النماذج إلى نقل المنتجات من مراكز إنتاجها إلى مراكز توزيعها بأقل تكلفة ممكنة ، وبشرط تلبية متطلبات مراكز التوزيع فى حدود الطاقات الإنتاجية لمراكز الإنتاج .

* **نموذج الانتـــقـــال الخطى** (Transhipment Programming Model). تُعَـدّ هذه البرمجة صيغة خاصة من صيغ البرمجة الخطية . وتهدف هذه النماذج إلى انتقال السلع أو الأفراد من إحدى المصادر إلى إحدى الغايات ، مع السماح لهذه المنقولات بأن تمر بواحد أو أكثر من المصادر أو الغايات قبل وصولها إلى الغاية النهائية ، إذا لم يتوافر الطريق المباشر ، أو كان الطريق غير المباشر أقل تكلفة من الطريق المباشر .

* **نموذج التـخـصـيص الخطى** (Assignment Programming Model). تُعَـدّ هذه البرمجة صيغة خاصة من صيغ البرمجة الخطية . وتهدف هذه النماذج إلى تخصيص عدد من الموارد بعدد من الأنشطة ، بحيث يخصص مورد واحد بكل نشاط ، بهدف الوصول إلى أفضل عائد ممكن ، فى صورة أكثر ربحية ممكنة ، أو أقل تكلفة ممكنة . ومثال ذلك تخصيص عدد من العمال ذوى تخصصات ومهارات متباينة لإنجاز بعض الأعمال التى يتطلب كل منها تخصصًا محددًا ومهارة معينة للحصول على أفضل عائد ممكن .

* **نموذج البرمجة التربيعية** (Quadratic Programming Model). تُعَدّ هذه البرمجة من البرامج الرياضية التى تكون فيها القيـــود خطيـــة ، ودالة الهـدف ذات علاقة تربيعية بين المتغيرات .

* **نموذج البـرمجة غير الخطية** (Non-Linear Programming Model). تُعَدّ هذه البرمجة من البرامج الرياضية التى تكون فيها دالة الهدف والقيود ذات علاقة غير خطية بين مختلف المتغيرات .

* **نموذج البـرمـجة الديناميكية** (Dynamic Programming Model). تتناول هذه النماذج اتخاذ قرارات متتابعة ومترابطة ، فهى تتميز بتطابقها مع وظائف الإدارة ، نظرًا لتعاملها مع اتخاذ القرار على مراحل زمنية ، وهو ما يواجه الإدارة فى تناول العديد من المشكلات العملية . ويتكون نموذج البرمجة الديناميكية من المعادلة الوظيفية لدالـــة الهـــدف (Functional Equation) ، ومراحـل القـرار(Decision Stages) ، ومتـغيـر الحالة (State Variables) ، ومتغيرات القرار (Decision Variables)، ومعادلة الربط

(Transformation Equation) بين كل مرحلة . وتحتاج هذه النماذج لكثير من العمليات الحسابية، التى تتطلب سرعات تشغيل فائقة، وسعات تخزين عالية . لذلك فإن حجم نماذج البرمجة الديناميكية التى يمكن التعامل معها وحلها باستخدام الحاسبات الآلية يُعَدّ محدوداً، خاصة عندما يحتوى النموذج على عدد كبير من متغيرات الحالة .

نماذج الشبكات الخطية (Network Analysis Models). تُؤدى نماذج الشبكات الخطية دوراً كبيراً فى تطبيقات بحوث العمليات . وقد أثبتت فاعليتها فى معالجة كثير من المشكلات . والشبكة (Network) تضم عادة مجموعة من الأنشطة (Activities) تُمثَّل بأسهم أو أقواس(Arrows or Arcs) وهى عادة ما تكون متداخلة ومترابطة بعضها مع بعض، وفق ترتيب منطقى معين، والأنشطة كلها لها بدايات ونهايات تعرف بالرءوس أو العُقد (Nodes or Points)، وتُمثَّل بحلقات صغيرة (Events). والشبكة بأنشطتها وبداياتها ونهاياتها تعبِّر عن تسلسل وترابط هذه الأنشطة وهذه الرءوس . وتستخدم الشبكات الخطية فى معالجة كثير من المشكلات، منها ما هو على النحو التالى :

* **نموذج المسار الحرج** (Critical-Path Model). يُمثِّل هذا النموذج شبكة تتضمن مجموعة من الأنشطة (Activities) بأحداثها (Events) التى تعبِّر عن تسلسلها وتتابعها وترابطها وتداخلها . وتبدأ الشبكة بحلقة تُمثِّل بدء المشروع، وتنتهى بحلقة تُمثِّل نهاية المشروع . ويمكن إضافة أنشطة وهمية بين الأحداث المختلفة بالشبكة، للمحافظة على التسلسل المنطقى للأنشطة وأحداثها، ويجرى تحديد الوقت المبكر، والوقت المتأخر للأحداث المختلفة، وكذا تحديد الزمن الراكد لجميع الأحداث، وبالتالى يمكن تحديد الأحداث الحرجة التى قد تؤثر على زمن استكمال المشروع فى الوقت المحدد، وتُمثِّل المسار الحرج الذى يمر بالأحداث الحرجة أطول وقت يمكن تنفيذ المشروع فيه .

* **نموذج الطريق الأقصر** (Shortest Route Model). يُمثِّل هذا النموذج شبكة تتضمن مجموعة من الحلقات عبارة عن عُقد متصلة بأقواس أو وصلات، وتسمى العُقدة الأولى بالمصدر (Source) والعُقدة الأخيرة بالمصب (Sink)، ويكون الهدف هو تحديد المسار الذى يصل بين المصدر والمصب، بحيث يكون مجموع التكلفة المتصلة بالأفرع فى المسار أقل ما يمكن . ومن التطبيقات العديدة أن أحد الأفراد يسكن فى مدينة معينة، ويعمل فى مدينة أخرى، ويبحث عن طريق برى يجعل وقت القيادة فيه أقل ما يمكن، وقد سجل هذا الشخص وقت القيادة بالدقيقة على الطرق السريعة بين المدن التى يمر عليها . ويمكن تمثيل هذه المشكلة بحيث تُمثَّل المدن بالعُقد، والطرق السريعة بالأفرع، وتكون

التكلفة المرتبطة بالأفرع هو وقت السفر، والمصدر هو المدينة التى يعيش فيها، والمصب هو المدينة التى يعمل بها. والمطلوب البحث عن أقصر طريق.

* **نموذج التدفق الأعظم** (Maximum-Flow Model). يُمثِّل هذا النموذج شبكة موجهة ذات منبع ومصب، وتهدف إلى إيجاد أكبر تدفق ممكن من المنبع إلى المصب. فإذا كانت طاقة الأقواس تُمثِّل عدد السيارات التى يمكن أن تعبر قوسًا معينًا فى وحدة زمنية معينة، فيكون الهدف عندئذ إيجاد أكبر عدد ممكن من السيارات بين المنبع والمصب. وإذا كانت طاقة الأقواس تُمثِّل طاقة كهربائية أو مائية التى يمكن أن تمر فى القوس فى وحدة زمنية معينة، فيكون الهدف هو إيجاد أكبر تدفق ممكن بين المنبع والمصب، وهكذا.

* **نموذج النطاق المصغر**(Minimum Span Model). يُمثِّل هذا النموذج شبكة تتضمن مجموعة من العُقد ومجموعة من الأفرع المقترحة، وكل فرع متجه له تكلفة لا سلبية مرتبطة به، ويكون الهدف هو إنشاء شبكة متصلة تحوى كل العُقد، بحيث يكون إجمالى التكلفة المرتبطة بهذه الأفرع أقل ما يمكن، بفرض أنه توجد أفرع مقترحه كافية لتأكيد وجود حل. ومثال ذلك أن إدارة الحدائق بإحدى المدن تخطط لتطوير مساحة خالية من أنشطة سياحية، فحددت أربعة مواقع فى المنطقة للوصول إليها بواسطة السيارات، وقد حددت المواقع والمسافات بينها بالكيلومتر. ولإيقاع أقل ضرر على البيئة، ترغب إدارة الحدائق تخفيض المسافات من الطريق اللازم للوصول إلى المكان، لذلك فهى تهدف إلى تحديد عدد الطرق التى يجب أن تُشيَّد لتحقيق ذلك.

نماذج ضبط المخزون (Inventory Control Models). تُعَدّ نماذج ضبط المخزون فى المؤسسات الإنتاجية من أهم المشكلات التى تواجهها الإدارة، لأنه توجد عوامل متضاربة وضاغطة على زيادة أو نقصان مستويات المخزون سواء كانت مواد خامًا أولية، أو منتجات نصف مصنعة، أو منتجات تامة الصنع. وتهدف النماذج الرياضية لضبط المخزون إلى تحديد الحجم الأمثل للطلب سواء كان للشراء خارجيًا أو للتصنيع داخليًا، وكذا تحديد نقطة إعادة الطلب، بشرط أن تكون التكلفة الكلية أقل ما يمكن. وتشمل التكلفة الكلية عادة تكلفة السلعة، وتكلفة إعداد الطلبية، وتكلفة التخزين.

نماذج صفوف الانتظار(Queueing or Waiting-Line Models). تهدف نماذج صفوف الانتظار إلى تقويم مستوى الخدمة التى تقدم فى المنظومات الإنتاجية سواء كانت تصنيعية أو خدمية، وحساب تكلفة تقديم هذه الخدمة للحصول على الاستفادة القصوى

من المنظومة، وعادة ما يكون الناتج هو تخفيض التكلفة الكلية المصاحبة للوقت الضائع فى مراكز الخدمة مقابل تكلفة انتظار العاملين (المعدات) أو العملاء (المنتجات). وصفوف الانتظار تُعَدّ ظاهرة عامة فى جميع المجالات، عندما يزيد طالبى الخدمة عن سعة مقدمى هذه الخدمة. ونظراً لكون عملية وصول طالبى الخدمة إلى المنظومة، وعملية خدمة المنتظرين من العمليات العشوائية المتغيرة بتغير الزمن، فقد يصعب تحقيق مستوى خدمة مقبول لطالبها متوازنة مع مستوى تكلفة معقولة لتقديم هذه الخدمة.

نماذج محاكاة المنظومات (Simulation System Models). تتميز النماذج الرياضية بمقدرتها على التعبير عن روح وجوهر المنظومات قيد الدراسة والمعالجة، وعلى تفنيد العلاقات الأساسية بين مختلف العناصر بأساليب واضحة؛ إلا أننا نواجه فى الواقع العملى العديد من المشكلات المعقدة التى عادة ما يصعب تمثيلها بنماذج رياضية، أو أن النموذج الرياضى نفسه بالغ التعقيد، بحيث يصعب حله بالأساليب الرياضية المعروفة. لذلك يمكن اللجوء إلى نماذج المحاكاة التى تعتمد على فكرة محاكاة المنظومة قيد الدراسة من خلال تقليد طريقة أدائها، وسلوك التفاعلات التى تجرى بين عناصرها. وبذلك يمكن محاكاة المنظومة الحقيقية بمنظومة نظرية، حتى يمكن التنبؤ بسلوكها وتفاعلاتها، ويستخدم فى ذلك الحاسبات الآلية حتى يمكن إخراج صورة مطابقة للمنظومة الحقيقية، والتوصل إلى نقاط الضعف فيها لمعالجتها.

تطبيقات بحوث العمليات:

حجبت متطلبات السِّرية العسكرية عن نشر الكثير من تفاصيل دراسات وتطبيقات بحوث العمليات التى تمت فى زمن الحرب لمدة طويلة، ولو أنها نشرت فى وقت لاحق. كما أن الكثير من ممارسات بحوث العمليات فى مختلف القطاعات عامة، وقطاع الصناعة خاصة، قد حُجبت عن الدوريات العلمية، نظراً لقيود السِّرية من قبل المؤسسات والشركات المستفيدة. وقد نتج عن ذلك، أن الدوريات العلمية فى بحوث العمليات امتلأت بالاتجاهات النظرية فى معظم الأوراق البحثية التى نشرت فى هذه الدوريات، بالإضافة إلى بعض البحوث التطبيقية التقليدية المتناثرة. وبالرغم من كل ذلك، فقد انتشرت استخدامات بحوث العمليات فى كثير من المؤسسات الاقتصادية والصناعية والزراعية والتجارية والمالية والخدمية والبيئية، وازدادت تطبيقاتها بمعدل سريع. ونسرد بعض تطبيقات بحوث العمليات فى مختلف القطاعات على النحو التالى:

تطبيقات الأنشطة الاقتصادية (Economic Activities Applications). من المشكلات التى عولجت بأساليب بحوث العمليات: تخطيط الاستثمارات المالية، وتحليل السيولة النقدية، وتحليل اندماج الشركات، وتحليل الموازنات وغيرها.

تطبيقات القطاع الصناعى (Industrial Sector Applications). من المشكلات التى عولجت بأساليب بحوث العمليات: تنبؤ بحجم الإنتاج، وتخطيط الإنتاج، وجدولة عمليات التصنيع، وتحديد حجم فرق الإصلاح، وتحديد مستوى العمالة، وتوزيع المنتجات، ونقل السلع، وبرمجة صيانة الماكينات، وتخصيص الأفراد، وتحديد مستويات المخزون، وتخصيص الموارد، وخلط المواد، وتخطيط برامج التسويق والإعلان، وغيرها.

تطبيقات القطاع الزراعى (Agricultural Sector Applications). من المشكلات التى عولجت بأساليب بحوث العمليات: دراسة خصائص التربة الزراعية، ودراسة أثر العوامل الجوية على معدلات نمو النبات، وتصميم سدود المياه، وغيرها.

تطبيقات الخدمات التعليمية (Educational Services Applications). من المشكلات التى عولجت بأساليب بحوث العمليات: تخصيص القاعات الدراسية، وتخطيط المنشآت التعليمية، وتخصيص الموارد التعليمية، وترشيد القوى البشرية فى مجال التعليم، وغيرها.

تطبيقات الخدمات الصحية (Health Services Applications). من المشكلات التى عولجت بأساليب بحوث العمليات: جدولة علاج المرضى بالعيادات الخارجية، وجدولة عمليات المستشفى، وتخطيط تشغيل بنوك الدم، وترشيد القوى البشرية فى مجال الرعاية الصحية، وترشيد عدد مسارح العمليات، وتخطيط الرعاية الصحية، وغيرها.

تطبيقات الخدمات البيئية (Environmental Services Applications). من المشكلات التى عولجت بأساليب بحوث العمليات: معالجة النفايات، ومعالجة الصرف الصحى، وتقليل فعالية الملوثات، واختيار أنسب البدائل فى طرق معالجة النفايات، وتخطيط المرور فى المدن، وغيرها.

تطبيقات الخدمات الاجتماعية (Social Services Applications). من المشكلات التى عولجت بأساليب بحوث العمليات: تخطيط القوى العاملة، وتقسيم المناطق إلى دوائر انتخابية، وتخصيص النواب والناخبين بكل دائرة، وغيرها.

تطبيقات الأنشطة الترفيهية (Entertainment Activities Applications). من المشكلات التى عولجت بأساليب بحوث العمليات: تخطيط تشغيل المنشآت السياحية والرياضية، وتحديد قنوات الخدمة المثلى، وتوزيع الأندية فى المدينة، وغيرها.

وقد ذكرنا بعض النماذج الرياضية والتطبيقات العملية على سبيل المثال لا الحصر، لأن جعبة بحوث العمليات فيها الكثير من النماذج والأساليب الرياضية ذات التطبيقات العسكرية والمدنية فى جميع المجالات. وسنقدم فى هذا الجزء من الكتاب 27 نموذجًا رياضيًا مبسطًا تُمثِّل منظومات واقعية لمعاونة الإدارة العلمية الحديثة فى اتخاذ القرارات الرشيدة عند تخطيط وتنظيم وتحليل وتحكم مختلف النشاطات فى منظومات التشغيل. وقد آثرنا تصنيف هذه النماذج حسب وظائف ومهام الإدارة التى قُدِّمت فى الباب الثالث.

الباب الرابع
نمذجة تخطيط المنظومات

الفصل الأول: نماذج تخطيط الاحتياجات
الفصل الثاني: نماذج تخطيط الموازنات
الفصل الثالث: نماذج تخطيط الموارد
الفصل الرابع: نماذج تخطيط العمليات

الباب الرابع
نمذجة تخطيط المنظومات

وظيفة التخطيط تُعَدّ من أهم وظائف الإدارة العلمية، وهى تشمل عدّة مهام، أهمها: تنبؤ بمختلف نشاطات المنظومات الإنتاجية، وتخطيط الموازنات المالية مع مراعاة التدفقات النقدية، وتوزيع المواد الأولية بين مختلف السلع المخطط إنتاجها، وجدولة العمليات فى مُدَد محددة لضمان الاستفادة القصوى من إمكانات المعدات والعمالة.

فتخطيط البرامج الإنتاجية بكميات محدَّدة، وفى أوقات مناسبة، وبمخزون معين، يتطلب التنبؤ باحتياجات السوق من السلع المطلوب إنتاجها، أو الخدمات المطلوب تقديمها، وبالتالى تقدير حجم المبيعات من السلع المنتجة أو الخدمات المقدمة.

وتخطيط الموازنات المالية يتطلب ترجمة الاحتياجات من مواد وعمالة ومعدات وطرق تشغيل، لإنتاج الكمية المخططة فى الأوقات المحددة، ثم جدولة التدفقات المالية خلال فترات معينة سواء كانت ربع سنوية أو نصف سنوية أو سنوية، وذلك لضمان السيولة النقدية.

وتخطيط الإنتاج المختلط يتطلب التوزيع الأمثل للموارد المحدودة من مواد أولية، وساعات بشرية، وطاقات إنتاجية، وموارد مالية، للوصول إلى أقصى عوائد نقدية، أو أقل خسارة معنوية، أو أفضل طاقة إنتاجية، أو أنسب تكلفة اقتصادية.

وتخطيط العمليات الإنتاجية، يتطلب توافر كميات معينة من المواد الأولية، وساعات محدَّدة من القوى العاملة، وطاقات محسوبة من المعدات الإنتاجية، طبقًا لخطة موضوعة مسبقًا. وتختلف أساليب جدولة المشغولات، وتحميل المعدات حسب نوعية منظومات الإنتاج، سواء كانت إنتاجًا متقطعًا، أو إنتاجًا مستمرّا، أو إنتاجًا فرديّا.

ويختص هذا الباب بنماذج تخطيط الاحتياجات، وتخطيط الموازنات، وتخطيط الموارد، وتخطيط العمليات، بهدف صنع القرارات الرشيدة فى المنظومات الإنتاجية.

الفصل الأول: نماذج تخطيط الاحتياجات

المنظومات الإنتاجية قلّما تخلو من حاجتها إلى اتخاذ قرارات بشأن تخطيط عمليات الإنتاج ومراقبة حركات المخزون، حتى يسير تدفق الإنتاج - بدءاً من مرحلة التنبؤ للطلب (Demand)، ومنتهيًا بمرحلة التوريد (Supply) - سيرًا حسنًا. وتقوم مراقبة الإنتاج بمتابعة نوعيات السلع التى ستنتج أو الخدمات التى ستقدم بكميات معينة وفى أوقات محدَّدة. وقد ساعدت الأساليب الكمية والحاسبات الآلية فى مراقبة المخزون على أساس التنبؤ بحجم الطلب، وتخطيط إنتاج الكميات المتوقع تصريفها، ثم جدولتها زمنيّا؛ وكذا مراقبة المخزون على أساس تحديد مستويات التخزين، وتقويم سياسات مخزون الأمان، ثم يتبع ذلك وضع خطط معينة لإمكانية تقويم الاحتياجات الإضافية من المواد والطاقات.

ومن الجدير بالذكر، أن عمليات التخطيط تجرى مراحلها من أعلى إلى أسفل، أى تبدأ بتحديد الأهداف المستقبلية، ثم تهبط مرحليّا حتى تصل إلى الوضع الحالى. أما عمليات التنفيذ، فتجرى مراحلها من أسفل إلى أعلى، أى تبدأ من الوضع الحالى، ثم تعلو مرحليّا إلى أن تصل إلى الأهداف المستقبلية. ولتوضيح هذه الفكرة، نعطى مثالاً أذكره دائمًا فى محاضراتى وهو: فى عمليات التخطيط نفترض أن شخصًا يرغب فى زيارة مريض بالمستشفى، وهو الهدف المستقبلى. ولتحقيق هذا الهدف، يجب أن يوجد هذا الشخص فى غرفة المريض؛ ولكى يصل إلى الغرفة، يجب أن يدخل المستشفى؛ ولدخول المستشفى، يجب أن يصل إليها سواء كان راكبًا أو مترجلاً؛ ولكى يأخذ وسيلة من وسائل المواصلات، يجب أن ينزل إلى الشارع؛ ولكى ينزل من منزله، يجب أن يرتدى ثيابه؛ وهكذا توضع الخطة لتحقيق الهدف المستقبلى. أما فى عمليات التنفيذ فيبدأ الشخص بمعرفة الوضع الحالى، ثم ينفذ الخطة من مرحلة ارتداء الثياب، إلى مرحلة النزول إلى الشارع، إلى مرحلة استخدام وسيلة من وسائل المواصلات للوصول إلى المستشفى، إلى مرحلة الصعود إلى غرفة المريض، إلى مرحلة زيارته تحقيقًا للهدف المستقبلى.

ووضع الخطط يتطلب التنبؤ بالمستقبل. وتعتمد التنبؤات الدقيقة على مدى نوعية المطلوب تقديره خلال الفترة المطلوب التنبؤ فيها، وصحة قواعد البيانات المتوافرة، وإمكانية توافر أساليب التنبؤ الكمية والكيفية. وعلى هذا الأساس، فإنه يمكن اختيار إحدى طريقتى التنبؤ الفعلية، وهما: إما أسلوب التنبؤ للمستقبل على أساس المستقبل، وإما أسلوب التنبؤ للمستقبل على أساس الماضى. ونعطى نبذة مبسطة عن كل من هاتين الطريقتين على النحو التالى.

نموذج تنبؤ بالسيناريوهات:

التنبؤ للمستقبل على أساس المستقبل يعنى تحديد الأهداف المستقبلية التى على أساسها تشكل سيناريوهات تُمثِّل مختلف الرغبات، ومنها تستنبط سيناريوهات تحقق هدفًا مركبًا من مختلف الرغبات موزونة حسب ثقل كل سيناريو. فعند التنبؤ بقطاع من القطاعات الاقتصادية لبلد ما، مع ندرة المعلومات، أو نقص فى المعلومات، أو خطإ فى المعلومات، أو عدم شفافية المعلومات، مما قد يؤدى إلى اتخاذ قرارات خاطئة، يطبق أسلوب السيناريو، مستخدمًا الخبرات الشخصية والتقديرات الفردية.

وتوصيف السيناريوهات يعتمد على عدة عوامل منها: عوامل اجتماعية من إسكان وبيئة وعادات، وعوامل سياسية محلية وإقليمية ودولية؛ وعوامل اقتصادية إنتاجية واستهلاكية واستيرادية وتصديرية؛ وعوامل استثمارية من إنتاج صناعى وزراعى وخدمى، وغيرها من العوامل المؤثرة. ولاستنتاج السيناريو المركب من مختلف السيناريوهات، يجب مراعاة المؤشرات الاقتصادية، والرغبات الإنسانية، حتى يمكن تقويمها، وهى تضم إجمالى الاستثمارات.

وقد استخدمنا هذا الأسلوب عندما كلَّفنا صندوق التنمية الكويتى فى عام 1972بوضع خطة مستقبلية لقطاع النقل فى السودان، إذ قمنا ببناء ثلاثة سيناريوهات تمثل آراء مختلف قطاعات الشعب السودانى، وهى: سيناريو يمثل أولوية للتنمية الزراعية، وسيناريو يمثل أولوية للتنمية الإقليمية، وسيناريو يمثل أولوية للربط بين الدول الإفريقية والدول العربية، ثم تم بناء سيناريو مركب موزون حسب ثقل كل سيناريو من هذه السيناريوهات، وبذلك أمكننا التوصل إلى خطة مستقبلية حتى عام 1985 لقطاع النقل فى السودان، حيث ترجمت هذه الخطة بعد ذلك إلى مشروعات بأولويات معينة، ثم قُدمت إلى البنك الدولى فى واشنجتون بالولايات المتحدة الأمريكية لإمكانية مساهمة الدول الأعضاء فى تمويل هذه المشروعات. ونظرًا لضيق المساحة، سنكتفى بذلك عن هذا الأسلوب.

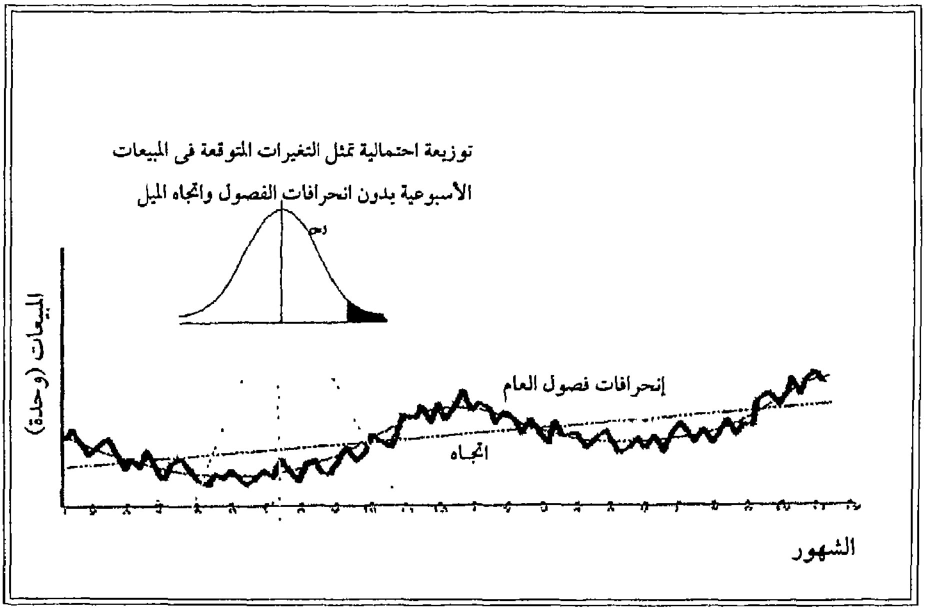
نموذج تنبؤ بالمتواليات:

التنبؤ للمستقبل على أساس الماضى يعنى استخدام قواعد البيانات لسنوات طويلة مضت فى التوصل إلى تقديرات مستقبلية لعدة سنوات. ويتطلب ذلك تطبيق أساليب رياضية وإحصائية لحساب المقادير والقيم المطلوب التنبؤ بها.

ومن الأساليب الكمية التى تستخدم فى التنبؤ على أساس الماضى، تحليل المتواليات الزمنية (Time Series Analysis)، وهى عبارة عن مجموعة بيانات متغيرة تغيراً عشوائيّاً خلال فترة زمنية محدودة، وتُمثل هذه البيانات فى جداول إحصائية أو رسومات بيانية. وتتميز مكونات المتواليات الزمنية ببعض الخصائص منها: اتجاه حركة البيانات سواء بالزيادة أو بالنقص (Trend)، ودورية المتغيرات بالارتفاع أو الانخفاض (Cyclical)؛ وفصول السنة التى يتعاظم فيها الطلب (Seasonal)، وعشوائية التقديرات لأحداث غير عادية (Random). وبالطبع قد تحدث أخطاء أو انحرافات فى التقديرات نتيجة أحداث غير متوقعة (Errors).

وبالرغم من استخدام الأساليب الكمية فى التنبؤ يساعد فى الحصول على تقديرات أقرب إلى الحقيقة، إلا أنه لا يمكن إهمال الخبرات الشخصية، بالإضافة إلى البيانات الحقيقية عن آراء المستهلكين، والعملاء، والموزعين، والبائعين. هذا بالإضافة إلى نتائج الأبحاث التسويقية، وردود فعل المستخدمين للعينات. وبعد تحليل هذه البيانات إحصائيّا، يمكن استنتاج المؤشرات. والشكل رقم (01 - 4) يوضح مختلف الانحرافات لتنبؤات المبيعات.

وطريقة التربيعات الأقل (Least Squares Method) تُعَدّ من الطرق الرياضية المبسطة التى تستخدم فى ملاءمة اتجاه نقاط البيانات. والملاءمة المثلى لنقاط البيانات لها عدة خواص منها أن إجمالى الفروق الرأسية بين النقاط الحقيقية والنظرية تساوى صفراً؛ وإجمالى مربع الفروق الرأسية تكون أقل ما يمكن؛ ومنحنى الملاءمة المثلى يمر بمتوسطات الإحداثيات الأفقى والرأسى. ويمكن ملاءمة البيانات الحقيقية بخط مستقيم (Straight Line Fit) أو منحنى أسِّى (Exponential Curve Fit)، أو أى منحنى آخر؛ أو محاولة إيجاد الخط المستقيم أو المنحنى الأسِّى النظرى الذى يلائم النقاط الحقيقية خلال فترة معينة. ويجدر الإشارة إلى أن الملاءمة المثلى هو أن ينطبق الخط المستقيم أو المنحنى الأسِّى النظرى على النقاط الحقيقية (The Best Fit).



شكل رقم (01 - 4): سلوك تنبؤات المبيعات خلال شهور السنة

ونقدم مثالاً بسيطًا لاستيعاب الفكرة. نفترض أن شركة وطنية قد باعت كميات من الثلاجات حجم 10 قدم خلال السنوات الخمس الماضية بما قيمته مضروبًا فى عشرة آلاف جنيه، وذلك على النحو التالى:

1995	1996	1997	1998	1999
108	119	110	122	130

والمطلوب التنبؤ بالمبيعات من هذا النوع من الثلاجات خلال عامى 2000 و 2001، باستخدام أسلوب ملاءمة الخط المستقيم، وملاءمة المنحنى الأسِّى.

أسلوب ملاءمة الخط المستقيم. يتطلب التنبؤ للمبيعات فى السنوات القادمة البحث عن خط مستقيم يكون أمثل ملاءمة لنقاط السنوات الماضية، وذلك بتحديد نقطة تقاطع الخط المستقيم مع الحدث الرأسى فى الرسم البيانى، وقيمة ميل هذا الخط. ولتحديد نقطة التقاطع وميل الخط، فإنه يمكن تمثيل الخط المستقيم بمعادلة رياضية على النحو التالى:

$$Y = a + bX$$

حيث :

Y = قيمة النقاط الحقيقية أو النظرية ممثلة على المحور الرأسى .

a = نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور الرأسى .

b = ميل الخط المستقيم فى الرسم البيانى .

X = سنوات الفترة الزمنية، ممثلة على المحور الأفقى .

وتحدد قيمة كل من a و b بشرط أن يكون مربع مجموع الفروق بين النقاط الحقيقية Y_A والنقاط النظرية Y_T أقل ما يمكن، أى تصغير $\Sigma(Y_A - Y_T)^2$، وذلك على النحو التالى :

* ضرب معادلة الخط المستقيم فى معامل a (معامل a يساوى واحدًا)، ثم تجمع جميع النقاط (عدد النقاط N)، فتصبح :

$$\Sigma Y = Na + b \Sigma X$$

* ضرب معادلة الخط المستقيم فى معامل b (معامل b يساوى X)، ثم تجمع جميع النقاط (عدد النقاط N)، فتصبح :

$$\Sigma XY = a \Sigma X + b \Sigma X^2$$

ويمكن حل هاتين المعادلتين للحصول على قيمة a و b، على النحو التالى :

$$a = \Sigma Y / N$$

$$b = \Sigma XY / X^2$$

والجدول رقم (01 - 4) يوضح الحسابات المطلوبة لاستخراج قيمة a و b .

جدول رقم (01 - 4): حسابات ملاءمة الخط المستقيم

السنـة	X	Y	X^2	XY
1995	- 2	108	4	-216
1996	- 1	119	1	-119
1997	0	110	0	0
1998	+ 1	122	1	122
1999	+ 2	130	4	260
إجمالى	**0**	**589**	**10**	**47**

حيث اختيرت نقطة المنتصف (عام 1997) فى المتوالية الزمنية كنقطة الأساس لسهولة الحساب. فتحسب قيمة a و b على النحو التالى:

$$a = \frac{\sum Y}{N} = \frac{589}{5} = 117.8 \qquad \text{or} \qquad \text{LE } 1{,}178{,}000$$

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2} = \frac{47}{10} = 4.7 \qquad \text{or} \qquad \text{LE } 47{,}000$$

وتصبح معادلة الخط المستقيم الأمثل نظريّاً على النحو التالى:

$$Y = 1{,}178{,}000 + 47{,}000\, X$$

ويُعَدّ هذا الخط أمثل ملاءمة لنقاط البيع الحقيقية طيلة السنوات الخمس الماضية. وعليه يمكن مَد هذا الخط لتحديد حجم المبيعات المتوقع فى عامى 2000 و 2001.

أسلوب ملاءمة المنحنى الأسِّى. يتطلب التنبؤ للمبيعات فى السنوات القادمة البحث عن منحنى أسِّى يكون أمثل ملاءمة للنقاط الحقيقية فى السنوات الماضية. ويتأتى هذا بتحديد قيمة a و b فى المعادلة الأسية التالية:

$$Y = a\, b^X$$

وبتحويل هذه المعادلة إلى الشكل اللوغاريتمى لتمثيل المنحنى الأسِّى بخط مستقيم، يصبح التمثيل على النحو التالى:

$$\text{Log } Y = \text{Log } a + X \text{ Log } b$$

ويمكن الرجوع إلى الجدول رقم (A - 01) لأعداد لوغاريتمية فى الملحق الإحصائى «جداول رياضية وإحصائية».

وباتباع نفس الخطوات السالفة الذكر عند تحديد الخط المستقيم الأمثل نظريّاً، نصل إلى قيمة a و b، وهما على النحو التالى:

$$\text{Log } a = \sum(\text{Log } Y) / N$$

$$\text{Log } b = \sum(X \text{ Log } Y) / \sum X^2$$

والجدول رقم (02- 4). يوضح الحسابات المطلوبة لاستنتاج قيمة a و b.

جدول رقم (02 - 4): حساب ملاءمة المنحنى الأسّى

السنــة	X	Y	X^2	Log Y	x LogY
1995	- 2	108	4	2.0334	-4.0668
1996	- 1	119	1	2.0755	-2.0755
1997	0	110	0	2.0414	0
1998	+ 1	122	1	2.0864	2.0864
1999	+ 2	130	4	2.1129	4.2278
إجمالى	**0**	**589**	**10**	**10.3506**	**0.1719**

فتصبح قيمة a و b على النحو التالى :

$$\text{Log a} = \Sigma (\text{Log Y}) / N = 10.3506 / 5 = 2.0701$$

$$\text{Log b} = \Sigma (\text{X Log Y}) / \Sigma X^2 = 0.1719 / 10 = 0.0172$$

أى أن

a = 117.5 or LE 1,175,000

b = 1.0405

وتصبح معادلة المنحنى الأسى الأمثل نظريّا على النحو التالى :

$$\text{Log Y} = 2.0701 + X (0.0172)$$

$$Y = 1,175,000 \ (1.0405)^X$$

ويُعَدّ هذا المنحنى هو الأمثل لنقاط البيع الحقيقية طيلة السنوات الخمس الماضية . وعليه يمكن مَدّ هذا المنحنى لتحديد حجم المبيعات خلال عامى 2000 و 2001 .

ويوضح الجدول رقم (03 - 4) المبيعات الحقيقية ، وأرقام الخط المستقيم النظرى ، وأرقام المنحنى الأسى النظرى .

جدول رقم (03 - 4): مقارنة بين نتائج الخط المستقيم والمنحنى الأسّي والمبيعات الحقيقية

السنـة	X	المبيعات الحقيقية	الخط المستقيم النظرى	المنحنى الأسّى النظرى
1995	- 2	108	108.4	108.5
1996	- 1	119	113.1	112.9
1997	0	110	117.8	117.5
1998	+1	122	122.5	122.3
1999	+2	130	127.2	127.2
2000	+3	-	131.9	132.3
2001	+4	-	136.6	137.7

وبمقارنة النقاط الحقيقية مع نقاط الخط المستقيم النظرية، ونقاط المنحنى الأسّى النظرية، نجد أنه يوجد تقارب كبير بينها.

الفصل الثانى: نماذج تخطيط الموازنات

المنظومات الإنتاجية قلّما تخلو من حاجتها إلى اتخاذ قرارات بشأن تخطيط وتحليل الموازنات المالية فى فترة معينة، سواء كانت سنوية أو نصف سنوية أو ربع سنوية. ويُعَدّ رأس المال مصدرًا تمويليًا تملكه أو تستخدمه المؤسسة الإنتاجية. وموازنات المنظومة ما هى إلا خطة مالية توضح مصادر واستخدامات الأموال المتدفقة خلال فترة زمنية معينة. ويأتى رأس المال عادة من أموال المساهمين فى صيغة أسهم اسمية، ومن أموال البنوك كقروض فى صيغة أموال نقدية، ومن عوائد السنوات الماضية فى صيغة أرباح إجمالية.

والمساهمون فى المنظومات الإنتاجية هم الملاك الذين يحصلون على أرباح سنوية من نتاج مختلف الأنشطة التى تقوم بها مؤسساتهم. أما المقرضون لهذه المؤسسات، فهم أصحاب الأموال الذين يحصلون على فوائد سنوية أو على فترات زمنية محدّدة. ويتطلب تقويم بدائل الاستثمارات الأخذ فى الحسبان عدة عوامل أساسية منها: الاستثمارات المبدئية (Initial Investment)، والتدفقات النقدية (Cash Flows)، والأصول الاستهلاكية (Assets Depreciation)، والضرائب السيادية (Governmental Taxes).

والأموال تتغير قيمتها بمرور الوقت، فعند دراسة جدوى مشروع ما، تحسب الأموال فى وقت استثمارها (Time Value of Money)، كما أن الأصول تستهلك على مدار حياتها المستغلة، لذلك فعند تقويم بدائل الاستثمارات، تحسب استهلاكات الأصول، ثم تخصم من صافى العوائد قبل احتساب الضرائب.

نموذج تقويم الأموال:

التدفقات المالية (Cash Flow) تعتمد قيمها على كمياتها وتوقيتاتها، حيث إن الأموال المتوافرة فى الوقت الحالى تكون أقيم فى أوقات لاحقة، وذلك لأن الأموال لها قوة

فى تشغيلها، مع الحصول على عائد من هذا التشغيل. فالفرق بين القيمة الحالية للأموال P، والقيمة المستقبلية للأموال F، راجع إلى الفوائد المتراكمة I خلال فترات زمنية n.

والفوائد تعبر عن مصروفات قُنِّنت عند استخدام أموال الآخرين، وحجم هذه المصروفات يعتمد على حجم الأموال المقترضة وأزمنة القروض ومعدلات الفائدة. فعندما يقترض الفرد أموالاً من أحد البنوك لفترة زمنية معينة ولتكن عامًا كاملاً، يجب أن يدفع فوائد على هذا القرض بنسبة معينة تعرف بمعدل الفائدة (Interest Rate)، وتتأثر معدلات الفائدة عادة بالأحوال الاقتصادية، ودرجة المخاطرة فى كل قرض.

والفوائد تحسب بطريقتين: إما الفائدة البسيطة (Simple Interest) وإما الفائدة المركبة (Compound Interest). والفائدة البسيطة هى نسبة ثابتة من أصل القرض مضروبًا فى عدد السنوات التى سَيُرَد عند نهايتها القرض بفوائده. وتمثل القيمة المستقبلية للقرض والفوائد بعد سنوات محدَّدة وبفائدة بسيطة معينة على النحو التالى:

$$F = P + I = P + inP = P(1+in)$$

حيث:

F = قيمة أصل القرض المستقبلية بعد عدد من الفترات n ومعدل فائدة i%.

P = حجم الأموال المقترضة، أى أصل القرض.

I = إجمالى الفوائد.

i = معدل الفائدة فى فترة زمنية محددة، ولتكن سنة.

n = عدد فترات القرض، وليكن عدد السنوات.

أما الفائدة المركبة (Compound Interest)، فتحسب على أساس تقسيم مجمل الفترة الزمنية إلى عدة فترات زمنية متساوية، ويُقوَّم أصل القرض مستقبليًا فى نهاية الفترة الأولى، ويصبح أصل القرض مضافًا إليه فوائده عن الفترة الأولى أصلاً للفترة الثانية، ثم تقوَّم القيمة المستقبلية لها فى نهاية الفترة الثانية، وهكذا. . . .، وتمثل رياضيًا على النحو التالى:

* قيمة الأموال المستقبلية فى نهاية الفترة الأولى : $F = P(1+i)^1$

* قيمة الأموال المستقبلية فى نهاية الفترة الثانية : $F = P(1+i)^2$

.
.
.

* قيمة الأموال المستقبلية فى نهاية الفترة n : $F = P(1+i)^n$

مع ملاحظة أن الأموال المتراكمة تزداد أسيًّا (Exponentially) بعد نهاية فترات القرض.

فإذا افترضنا أن طالبًا اقترض من البنك LE 3,000 ليستكمل تعليمه، على أن يردها بعد التخرج أى بعد 3 سنوات، وبفائدة بسيطة 8%، فتكون القيمة المستقبلية للقرض على النحو التالى:

$$F = P(1 + \text{in}) = 3000 \{ 1 + (\% 8)(3) \} = \text{LE } 3{,}720$$

أى أنه سيدفع 720 جنيه تكلفة للقرض الذى حصل عليه منذ 3 سنوات.

أما إذا حصل الطالب على قرض بفائدة سنوية مركبة، فتكون القيمة المستقبلية لهذا القرض على النحو التالى:

$$F = P(1 + I)^n = 3000\,(1.08)^3 = \text{LE } 3{,}779.14$$

أى أنه يدفع LE 779.14 تكلفة للقرض الذى حصل عليه منذ 3 سنوات.

والقيمة الزمنية للأموال (Time Value of Money) تعتمد على قابليتها لكسب عوائد مالية، إذ تزداد قيمتها بمرور الوقت من الحاضر إلى المستقبل. فالقيمة المستقبلية F لمبلغ معين من المال P أو لدفعات مالية ممثلة فى متوالية عددية متساوية A، تزداد إذا تم إيداع المبلغ فى بنك لفترة زمنية n، وبمعدل فائدة $i\%$ لكل فترة.

أما التدفقات المالية، فهى الفرق بين الإيرادات (Revenues, Receipts, or Inflows) والنفقات (Expenses, Disbursements, or Outflows) لفترة معينة، عادة ما تكون سنة كاملة. وتُعَدّ التدفقات المالية ذات أهمية فى مجال الاقتصاد الهندسى، لأنها تُعَدّ

الأساس فى تقويم بدائل المشروعات، أو بدائل المعدات، أو بدائل الاستثمارات، لاختيار الأنسب.

ويمكن تمثيل التدفقات المالية برسومات بيانية. فالفترة الزمنية تُمثَّل بخط مستقيم مقسَّم بعدد الفترات، والإيرادات تُمثَّل بأسهم رأسية فوق الخط، والنفقات تُمثَّل بأسهم رأسية تحت الخط. ويلاحظ عند تمثيل التدفقات المالية برسومات بيانية، أن توضع الإيداعات والمسحوبات أو الإيرادات والنفقات على النحو التالى:

* القيمة الحاضرة P تحدث فى أول الفترة الزمنية، أى تحدث فى فترة زمنية واحدة قبل حدوث أول المتوالية المتساوية A.

* القيمة المستقبلة F تحدث عند نفس النقطة التى عندها آخر متوالية متساوية A، وعدد معين من الفترات الزمنية n بعد القيمة الحاضرة P.

وقد جرى العرف على بيان العلاقات الجبرية بين مختلف عوامل القيم الوقتية للأموال على النحو التالى:

* القيمة المستقبلية لأموال حاضرة . . . . (Future Worth of Present Sum).

* القيمة الحاضرة لأموال مستقبلية. . . . . . . (Present Worth of Future Sum).

* القيمة الحاضرة لأموال فى متوالية متساوية (Present Worth of Uniform Series).

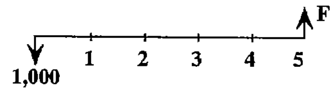
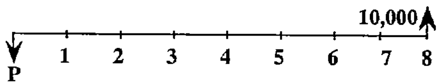
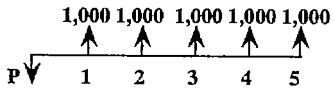
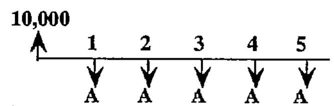
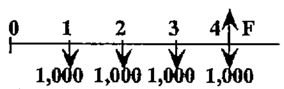
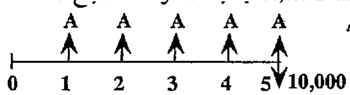
* القيمة المتوالية المتساوية لأموال حاضرة . . (Uniform Series of Present Sum).

* القيمة المستقبلية لأموال فى متوالية متساوية (Future Worth of Uniform Series).

* القيمة المتوالية المتساوية لأموال مستقبلية. (Uniform Series of Future Worth).

وقد مُثلت هذه العوامل برموز معينة، وصُمِّمت جداول حسابية للتحويلات، ويمكن الرجوع إلى الجداول أرقام (A - 02) حتى (A - 07) لقيم الأموال الحاضرة والمتوالية والمستقبلة بفوائد متباينة، فى الملحق الإحصائى «جداول رياضية وإحصائية». والجدول رقم (04 - 4) يوضح رموز عوامل القيم الوقتية للأموال، والعلاقات الجبرية بينها. وحتى نستوعب الفكرة، نقدم مثالاً عدديًا مُمثَّلا برسم بيانى لكل من هذه العوامل.

جدول رقم (4-04) : قيم التدفقات المالية حسب التوقيتات المختلفة

الرقم	العامـــل	العلاقة الرياضية	الرمـــز	المثال (على أساس فائدة 10%)	الحساب من الجداول
01	القيمة المستقبلية لأموال حاضرة.	$(1+i)^n$	$\left(f/p\right)_n^i$	أودعنا 1,000جنيه، فتصبح القيمة المستقبلية F بعد 5 سنوات. 	$F = P\left(f/p\right)_5^{10}$ $= 1,000\ (1.1611) = LE\ 1,611$
02	القيمة الحاضرة لأموال مستقبلية.	$\frac{1}{(1+i)^n}$	$\left(p/f\right)_n^i$	أردنا 10,000جنيه بعد 8 سنوات،فتكون القيمة الحالية P 	$P = F\left(p/f\right)_8^{10}$ $= 10,000\ (0.4665) = LE\ 4,665$
03	القيمة الحاضرة لأموال فى متوالية متساوية.	$\frac{(1+i)^n - 1}{i\,(1+i)^n}$	$\left(p/a\right)_n^i$	أردنا أن نسحب 1000جنيه سنويًا لمدة 5 سنوات، فتكون القيمة الحاضرة P . 	$P = A\left(p/a\right)_5^{10}$ $= 1,000\ (3.791) = LE\ 3,791$
04	القيمة المتوالية المتساوية لأموال حاضرة.	$\frac{i\,(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	$\left(a/p\right)_n^i$	اقترضنا 10,000جنيه، فتصبح قيمة الأقساط السنوية المتساوية على مدى 5 سنوات A 	$A = P\left(a/p\right)_8^{10}$ $= 10,000\ (0.2638) = LE\ 2.638$
05	القيمة المستقبلية لأموال فى متوالية متساوية.	$\frac{(1+i)^n - 1}{i}$	$\left(f/a\right)_n^i$	أودعنا 1000جنيه كل عام لمدة 4 سنوات، فتصبح القيمة المستقبلية F 	$F = A\left(f/a\right)_4^{10}$ $= 1,000\ (4.641) = LE\ 4,641$
06	القيمة المتوالية المتساوية لأموال مستقبلية.	$\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	$\left(a/f\right)_n^i$	أردنا أن نسحب 10,000جنيه بعد 5 سنوات،فتصبح الأقساط السنوية المتساوية A 	$A = F\left(a/f\right)_8^{10}$ $= 10,000\ (0.1638) = LE\ 1,638$

نموذج استهلاك الأصول:

الاستهلاك للأصول الثابتة (Fixed Assets) يُعَدّ أسلوبًا معترفًا به لتوزيع قيم هذه الأصول على عدّة سنوات، عندما تدر دخلاً يُدفع عليه ضرائب. وتسمح قوانين الضرائب فى مختلف الدول باستهلاك قيمة الأصول المستخدمة فى مختلف المؤسسات الإنتاجية أو الخدمية أو المهنية التى تدر إيرادات سنوية، ما عدا الأراضى التى لا تستهلك حتى لو استخدمت فى مشروعات إنتاجية، وكذا الممتلكات الشخصية كالمنزل والسيارة وغيرها، لعدم استعمالها فى إدارة الأعمال، وبالتالى لا تدر ربحًا. ويشترط أن تكون الأصول الثابتة ذات حياة مفيدة (Useful Life)، أو حياة خدمية (Service Life)، أو حياة طبيعية (Natural Life)، أو حياة اقتصادية (Economic Life)، أو حياة سوقية (Market Life)، وذلك لمدة عام أو أكثر.

والاستهلاك يحسب عادة على أساس تكلفة اقتناء الأصول (Purchasing Price)، أى ما يصرف عليها حتى يحين استغلالها، وزمن الاستفادة منها (Useful Life)، وقيمة التخلص منها بتخريدها (Salvage Value)، وطريقة حساب الاستهلاك المعتمدة من مصلحة الضرائب (Depreciation Method). والأصول عادة ما تستمر فى العمل طيلة سنوات الاستهلاك، حتى يتم تخريدها أو التخلص منها بسبب عوامل التقادم أو غيرها.

ومن الجدير بالذكر، أن حساب قيمة الاستهلاك السنوية للأصول لا تمثل تدفقات مالية، لأن قيمة هذه الأصول قد أخذت فى الحسبان قبل ذلك كاستثمار رأس مال معين. وصافى قيمة الأصول توزع على سنوات حياتها المفيدة، بعد تخفيض قيمة تخريدها من قيمة اقتنائها. وحساب القيم الاستهلاكية تخفض من قيمة الضرائب التى يجب أن تُدفع لأنها تخصم من صافى الإيرادات السنوية، وعليه تحدد شريحة الضرائب. ويُفضَّل عادة استخدام الطريقة التى تعيد معظم قيم الأصول فى السنوات المبكرة، وفى هذا ضمان ضد أى تغيرات فجائية قد تحدث، فتقلل من قيمة الأصول.

والطرق الحسابية للاستهلاك تتميز عن غيرها بعدة خصائص منها: أنها تعيد رأس المال المستثمر فى الأصول المستهلكة؛ وتراعى التقارب بين القيم الحسابية والقيم الحقيقية للأصول على مدى حياتها؛ وتضمن السهولة فى تطبيقها؛ وتُعتمد من مصلحة الضرائب. ونستعرض عدَّة طرق لحساب الاستهلاك على النحو التالى:

* طريقة قسط الإهلاك الثابت . . . . (Straight Line Method,S-L).

* طريقة مجموع أرقام السنوات.......... (Sum-of-Digits Method,S-D).

* طريقة رصيد الإهلاك المتناقص ...... (Declining-Balance Method, D-B).

* طريقة قسط الإهلاك المتزايد............ (Sinking Fund Method, S-F).

ونقدم مثالاً عدديّا بسيطًا لاستيعاب الأسس التى بنيت عليها مختلف طرق حساب الاستهلاك. نفترض أن شركة وطنية استثمرت L E 82,000 فى شراء جهاز حاسب آلى معين لاستخدامه 7 سنوات، ثم تتخلص منه مقابل L E 5,000 بعد هذه الفترة. وقد توقعت الشركة أن تحصل على إيرادات سنوية مقدارها L E 23,500 طيلة تشغيله مقابل إجراء عمليات حسابية لبعض العملاء. والمطلوب حساب القيمة الاستهلاكية لهذا الجهاز بمختلف الطرق حتى يمكن معرفة أنسبها لاختيارها عند احتساب الضرائب.

ونظرًا لضيق المساحة، لن نخوض فى تفصيلات وتفسيرات حسابات طرق الاستهلاك، وسنكتفى بتقديم المعادلات الرياضية لحساب القيمة الاستهلاكية فى العام t (Depreciation Charge)، والقيمة الإجمالية التى استهلكت حتى آخر عام t (Accumulated Depreciation)، والقيمة المحاسبية المتبقية من آخر عام t (Charge Book Value). والجدول رقم (05 - 4) يوضح القيم الاستهلاكية للمثال العددى ـ الذى قدمناه ـ بعد حسابها بواسطة المعادلات المبينة فى الجدول رقم (06 - 4) بمختلف الطرق.

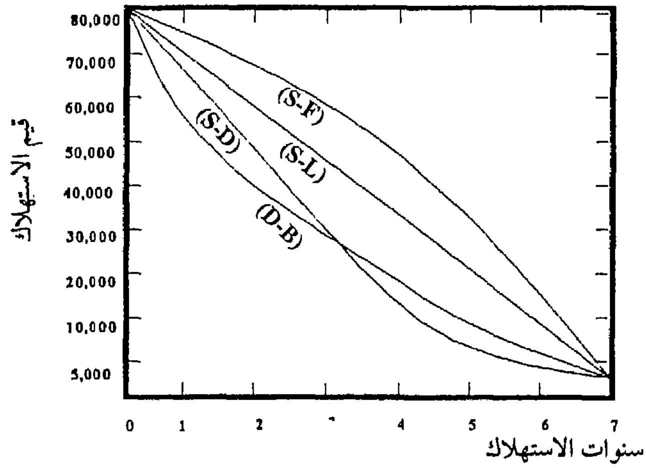
جدول رقم (05 - 4): قيم استهلاكات الأصول بالطرق المختلفة

الطريقة	القيمة الاستهلاكية فى العام الأول	القيمة الإجمالية التى استهلكت حتى آخر العام الثالث	القيمة المحاسبية المتبقية آخر العام الثالث
S - L	LE 11,000	LE 33,000	LE 49,000
S - D	LE 19,250	LE 49,500	LE 32,500
D - B	LE 23,428	LE 52,117	LE 29,883
S - F	LE 6,957.70	LE 24,160.80	LE 57,839.20

جدول رقم (06- 4): معادلات استهلاكات الأصول بالطرق المختلفة

الطريقة	القيمة الاستهلاكية في العام t	القيمة الإجمالية التي استهلكت حتي آخر العام t	القيمة المحاسبية المتبقية آخر العام t
S - L	$(P-S)\frac{1}{n}$	$(P-S)\frac{t}{n}$	$(P-S)\left(\frac{n-t}{n}\right)+S$
S - D	$(P-S)\left[\frac{2(n+1-t)}{n^2+n}\right]$	$(P-S)\left[\frac{2nt-t^2+t}{n^2+n}\right]$	$(P-S)\left[\frac{n^2+n-2tn+t^2-t)}{n^2-n}\right]+S$
D - B	$P\left(\frac{2}{n}\right)\left(\frac{n-2}{n}\right)^{t-1}$	$P\left[1-\left(\frac{n-2}{n}\right)^t\right]$	$P\left(\frac{n-2}{n}\right)^t$
S - F	$(P-S)\left[\left(\frac{i}{(1+i)^n-1}\right)(1+i)^{t-1}\right]$	$(P-S)\left[\left(\frac{i}{(1+i)^n-1}\right)\left(\frac{(1+i)^t-1}{i}\right)\right]$	$P-\left[(P-S)\left(\frac{i}{(1+i)^n-1}\right)\left(\frac{(1+i)^t-1}{i}\right)\right]$
	القيمة التخريدية S		القيمة الحاضرة P

ولما كان اختيار طريقة حساب الاستهلاك يعتمد على سرعة استعادة المال المستثمر فى الأصول المستهلكة، فيجدر بنا الإشارة إلى العلاقة بين القيم الاستهلاكية المحسوبة بمختلف الطرق الأربعة، وهى موضحة فى الشكل (02 - 4).



شكل رقم (02 - 4): علاقات بيانية بين طرق استهلاك الأصول

ويشير هذا الشكل إلى أن أقل معدل فى إستعادة المال المستثمر فى اقتناء الأصول، يتم الحصول عليه عند استخدام الطريقة (S-L)؛ فى حين أنه يمكن استعادة معظم المال المستثمر فى السنوات الأولى من حياة الأصول، إذا استخدمت الطريقتين (D-B) و(S-D). فيمكن استعادة ثلاثة أرباع إجمالى المال المستثمر فى السنوات المبكرة عند استخدام الطريقة (S-D)، واستعادة الثلثين باستخدام الطريقة (D-B).

الفصل الثالث: نماذج تخطيط الموارد

المنظومات الإنتاجية قلّما تخلو من حاجتها إلى اتخاذ قرارات بشأن توزيع الموارد بشكل فعَّال بغية الوصول إلى أفضل العوائد كأقصى ربحية، أو أقل تكلفة، أو أقل خسارة، أو أفضل طاقة إنتاجية، وذلك تحت مجموعة من القيود (Constraints) الناتجة عن محدودية الموارد مثل المواد الأولية، والساعات البشرية، والطاقات الإنتاجية، والموارد المالية.

وقد أمكن نمذجة هذه المنظومات فى نماذج رياضية تتكون من دالة الهدف التى تعبر عادة عن هدف اقتصادى، وهو البحث عن أمثل قيمة لها سواء كان أكبر قيمة أو أقل قيمة، وذلك فى ظل مجموعة من القيود التى تتمثل فى عدة معادلات رياضية تمثل العلاقة بين المتغيرات. وإذا كانت دالة الهدف والمعادلات التى تمثل القيود خطية، فيرمز لهذه النماذج الرياضية بأساليب البرمجة الخطية (.Linear Programming Methods).

ونماذج البرمجة الخطية طُبقت فى مجالات عديدة لمعالجة كثير من المنظومات الإنتاجية مثل توزيع المواد الأولية، وتخطيط الإنتاج المختلط، ومزج الخامات الأولية، وتخطيط المشروعات الاستثمارية، وتوزيع الاستثمارات المالية، ونقل المنتجات النهائية، وانتقال الركاب والبضائع، وتخصيص العمالة الماهرة، وغيرها من المجالات العديدة.

نموذج توزيع الموارد:

تهدف منظومة توزيع الموارد إلى تقسيم الموارد المحدودة بين خليط من السلع بشكل فعَّال، للوصول إلى أقصى ربحية، أو أقل تكلفة. وتُعَدّ نماذج البرمجة الخطية من أنسب نماذج بحوث العمليات لمعالجة مشكلات الإنتاج والتخزين والنقل والتوزيع.

ويتكون هذا النموذج من دالة هدف (Objective Function) تعبر عن ربحية أو تكلفة. والهدف هو تعظيم الربحية (Profit Maximization) أو تصغير التكلفة (Cost Minimization)، فى ظل مجموعة من القيود (Constraints) تعبِّر عن محدودية

الموارد مثل ساعات العمل المتوافرة، أو كميات المواد الأولية الموردة، أو طاقات الإنتاج الموجودة، أو نفقات التشغيل الممكنة، أو غيرها.

ويهدف نموذج البرمجة الخطية إلى اختيار الحل الأمثل الذى يؤدى إلى تصغير التكلفة أو تعظيم الربحية. وتُمثِّل دالة الهدف معايير تقويم الحلول المطروحة، فى حين أن القيود التى تُمثِّل رياضيّاً بمعادلات توضح العلاقة الجبرية بين المتغيرات ولها حد مساو أو أقل من (≤)، أو مساو أو أكبر من (≥)، أو مساو كميات معينة (=)، تُمثِّل حدود الاختيار من بين الحلول الممكنة. ويمكن تعريف نماذج البرمجة الخطية رياضيّاً بصفة عامة على النحو التالى:

تعظيم أو تصغير دالة الهدف

$$Z = \sum_{j=1}^{n} c_j \; X_j$$

بشرط القيود

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} \; X_j \quad (\leq, =, \geq) \quad b_i$$

وقيود اللاسلبية

$$X_j \geq 0$$

حيث:

X_j = مستوى المتغيرات التى تمثل نشاط j.

c_j = عامل الربحية (أو التكلفة) لكل وحدة من المتغيرات X_j.

a_{ij} = كمية استهلاك النشاط j من المورد i.

b_i = حدود الكمية المتاحة من المورد i

وتعتمد نظرية نماذج البرمجة الخطية على ثلاث افتراضات: (1) التناسب (Proportionality)، ويعنى أن استهلاك الموارد بواسطة نشاط من الأنشطة وأثره على دالة الهدف يتناسب مع مستوى النشاط؛ (2) القابلية للجمع (Additivity)، ويعنى أن الاستهلاك الجماعى للموارد عبارة عن مجموع الاستهلاكات لكل نشاط من الأنشطة. وهذان الفرضان يؤديان إلى تمثيل خطى لجميع عناصر النموذج؛ (3) القيود الموجبة أى قيود اللاسلبية (Non-negativity)، ويعنى أن المتغيرات التى تحدد مستوى النشاطات لا يمكن أن تكون سالبة. وقد نجح نموذج البرمجة الخطية فى كثير من المنظومات الإنتاجية، وخاصة فى شركات البترول لعدّة عوامل منها: بساطة النموذج الرياضى، وسرعة

الحاسبات الفائقة، وسعة التخزين الكبيرة؛ مع أن حجم النموذج قد يصل إلى مئات المتغيرات وآلاف القيود.

ويمكن تقديم هذا النموذج باستعراض مثال عددى بسيط لاستيعاب الفكرة. نفترض وجود ورشة صغيرة بها خط لتصنيع حزام جلد حريمى وحزام جلد رجالى. ويتساوى الحزامان فى نوعية الجلد ومقاساته، أما «التوكة» فتختلف فى الحجم والنوعية. وتوجد بعض القيود على الإنتاج من نواح عديدة: فلا يمكن توريد أكثر من 400 توكة لحزام السيدات و 700 توكة لحزام الرجال يوميًا، كما لا يمكن توريد نوعية الجلود المطلوبة لأكثر من 800 قطعة يوميًا للحزامين معًا. أما عدد الساعات المتاحة لتصنيع هذه الأحزمة فهى لا تزيد عن 1,000 ساعة/ عامل يوميًا. ونظرًا لاحتياج الحزام الحريمى لوقت أطول فى التشغيل لزخرفته، فهو يحتاج إلى ساعتين لتصنيعه، فى حين أن الحزام الرجالى يتطلب ساعة واحدة فقط. وربحية الحزام الحريمى والرجالى هى 0.40 و LE 0.30 على التوالى، والمطلوب تعظيم إجمالى الربحية. ويمكن ترجمة هذه المشكلة فى نموذج برمجة خطية على النحو التالى:

تعظيم دالة الهدف

$$Z = 0.4\,X_1 + 0.3\,X_2$$

فى ظل القيود التالية

* قيود كميات التوك الموردة يوميًا

$$X_1 \leq 400 \quad ❶$$

$$X_2 \leq 700 \quad ❷$$

* قيود كميات الجلود الموردة يوميًا

$$X_1 + X_2 \leq 800 \quad ❸$$

* قيود ساعات التشغيل المتاحة يوميًا

$$2X_1 + X_2 \leq 1000 \quad ❹$$

* قيود اللاسلبية

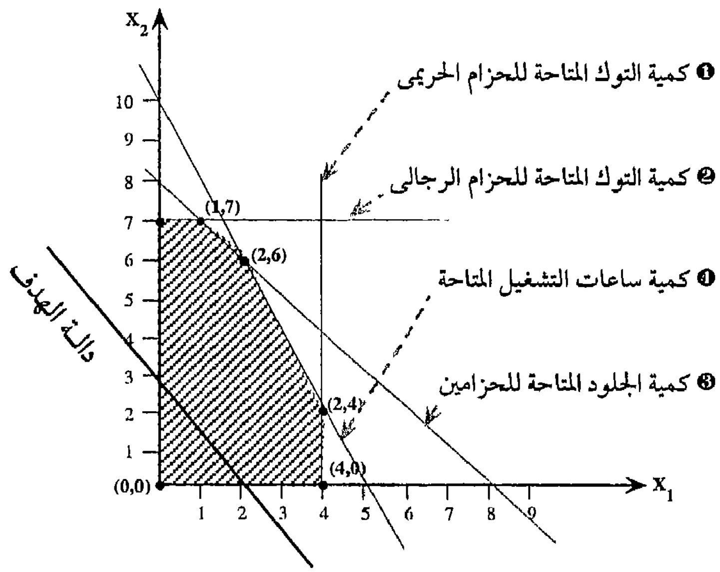
$$X_1 \;,\; X_2 \leq 0$$

حيث:

X_1 = الكمية المنتجة من الحزام الحريمى.

X_2 = الكمية المنتجة من الحزام الرجالى.

ويمكن تمثيل نموذج البرمجة الخطية لخط إنتاج الحزامين فى رسم بيانى موضح فى الشكل رقم (03 - 4). ويتكون الشكل من أربعة خطوط ❶ و❷ و❸ و❹ تحدد قيود التوك الحريمى، والتوك الرجالى، وجلود الحزامين، وساعات التشغيل، على التوالى. وتشكل هذه الخطوط شكلاً محدَّدا (Convex Set) يتميز بنقاط أو رءوس ركنية (Extreme Points). والحلول الممكنة (Feasible Solutions) لهذه المشكلة تقع داخل أو على حدود هذا الشكل. أما الحل الأمثل أو الحلول المثلى، فهى تقع على ركن أو أكثر من أركان هذا الشكل. لذلك يجب البحث عن الحل الأمثل فى خلال النقاط الركنية فقط، توفيراً للجهد والوقت. وتحدَّد النقطة الركنية المثلى، بتحديد درجة ميل دالة الهدف(Isoprofit Line)، وتوقيعها على هذا الشكل، ثم تحريكها إلى أعلى للبحث عن النقطة الركنية التى تمثل أقصى ربحية. ويتضح من الشكل البيانى أن النقطة الركنية المثلى (X_1 , X_2) هى (600 , 200)، ويصبح أقصى ربحية هى $Z = 0.4\ (200) + 0.3\ (600) = 260$.



شكل رقم (03 - 4): رسم بيانى للبرمجة الخطية

ومن الجدير بالذكر، أن الطريقة البيانية (Graphical Method) يسهل بها تمثيل نموذج برمجة خطية ذات متغيرين فقط، لصعوبة التعامل مع ثلاثة متغيرات أو أكثر بيانيّا. لذلك فإن نماذج البرمجة الخطية ذات الثلاث متغيرات أو أكثر، يمكن حلها بطريقة جبرية

(Simplex Method) . وتعتمد هذه الطريقة أساسًا على نظرية النقاط الركنية الموضحة فى الرسم البيانى. والطريقة الجبرية تستخدم خوارزيزم تكرارى (Iterative Algorithm) يمكن بموجبه تحسين قيمة دالة الهدف تدريجيًا من خلال الانتقال من نقطة ركنية معينة إلى نقطة ركنية أخرى مجاورة لها، حتى يتم الوصول إلى النقطة الركنية التى يتعذر بعدها تحسين قيمة دالة الهدف. ويمكن توضيح ذلك فى جداول سمبلكس التكرارية بدءًا بالحل المبدئى، واستمرارًا فى التحسين فى جداول سمبلكس المتتالية إلى أن نصل إلى جدول سمبلكس النهائى الذى يعطى الحل الأمثل وهو عبارة عن قيم المتغيرات وقيمة دالة الهدف.
ويمكن شرح طريقة سمبلكس الجبرية على النحو التالى:

جدول سمبلكس المبدئى. يُعَدّ نموذج البرمجة الخطية فى الشكل الذى يتلاءم مع جدول السمبلكس، وذلك بتغيير جميع المعادلات التى تمثل القيود ذات العلامة ≤ أو ≥ إلى العلامة = ، بإضافة أو انتقاص متغير وهمى، مع إضافة هذه المتغيرات الوهمية إلى دالة الهدف بمعاملات صفر إذا كان الهدف هو التعظيم، أو بمعاملات ذات قيم كبيرة إذا كان الهدف هو التصغير. فيصبح النموذج الرياضى على النحو التالى:

عظم الدالة

$$Z = 0.4\,X_1 + 0.3\,X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6$$

بقيود المنظومة

$$1X_1 + 0X_2 + 1X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 = 400$$
$$0X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 1X_4 + 0X_5 + 0X_6 = 700$$
$$1X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 1X_5 + 0X_6 = 800$$
$$2X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 1X_6 = 1000$$

وقيود اللاسلبية

$$X_1,\ X_2,\ X_3,\ X_4,\ X_5,\ X_6 \geq 0$$

ثم توضع معاملات المتغيرات السالفة الذكر فى جدول سمبلكس المبدئى الموضح بالجدول رقم (07 - 4)، مع وضع مربع حول الواحد الصحيح فى العمود الذى يحوى بقية أرقامه أصفارًا، وبذلك يمكن قراءة الحل المبدئى من الجدول مباشرة وهو على النحو التالى:

$$P_1 = 0\ ,\ P_2 = 0\ ,\ P_3 = 400\ ,\ P_4 = 700\ ,\ P_5 = 800\ ,\ P_6 = 1000$$

جدول رقم (07 - 4): جداول سمبلكس للبرمجة الخطية

Cj		0.4	0.3	0	0	0	0	P_0
$C_{\otimes}$	$P_{\otimes}$	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	
0	P_3	①	0	1	0	0	0	400
0	P_4	0	1	0	1	0	0	700
0	P_5	1	1	0	0	1	0	800
0	P_6	2	1	0	0	0	1	1000
C_j - Z_j		0.4	0.3	0	0	0	0	0
		داخل		خارج				

Cj		0.4	0.3	0	0	0	0	P_0
$C_{\otimes}$	$P_{\otimes}$	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	
0.4	P_1	1	0	1	0	0	0	400
0	P_4	0	1	0	1	0	0	700
0	P_5	0	1	-1	0	1	0	400
0	P_6	0	①	-2	0	0	1	200
C_j - Z_j		0	0.3	-0.4	0	0	0	160
			داخل				خارج	

Cj		0.4	0.3	0	0	0	0	P_0
$C_{\otimes}$	$P_{\otimes}$	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	
0.4	P_1	1	0	1	0	0	0	400
0	P_4	0	0	2	1	0	-1	500
0	P_5	0	0	①	0	1	-1	200
0.3	P_2	0	1	-2	0	0	1	200
C_j - Z_j		0	0	0.2	0	0	-0.3	220
				داخل		خارج		

Cj		0.4	0.3	0	0	0	0	P_0
$C_{\otimes}$	$P_{\otimes}$	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	
0.4	P_1	1	0	0	0	0	1	200
0	P_4	0	0	0	1	-2	1	100
0	P_3	0	0	1	0	1	-1	200
0.3	P_2	0	1	0	0	2	-1	600
C_j - Z_j		0	0	0	0	-0.2	-0.1	260

كما يمكن قراءة قيمة دالة الهدف فى المربع السفلى على اليمين بالجدول وهو صفر . ويُملأ باقى الجدول بوضع معاملات المتغيرات بدالة الهدف فى الصف الأول من الجدول c_j؛ وفى الصف الأخير توضع قيمة المساهمة الصافية للمتغيرات $(c_j - z_j)$، وهذه القيم ستعطى المؤشر للمتغير الذى يجب إدخاله فى الحل . والحل المبدئى العملى هو عدم إنتاج أى حزام حريمى أو رجالى ، وبالتالى تكون قيمة الربحية صفراً ، أى أن الحل المبدئى هو $X_1 = 0 , X_2 = 0 , Z = 0$. ويتمثل هذا الحل فى النقطة الركنية (0,0) بالرسم البيانى ، أما المتغيرات الوهمية فينتج منها الكميات الموضحة على يمين جدول سمبلكس المبدئى .

جدول سمبلكس الثانى. تعتمد النظرية على استبدال متغير فى الحل المبدئى بمتغير آخر من مجموعة المتغيرات التى ليست فى الحل ، ليصبح عدد المتغيرات فى الحل مساوياً لعدد المعادلات (أو عدد الصفوف فى الجدول) . والمعيار لإدخال متغير جديد فى الحل هو اختيار المتغير التابع لأكبر قيمة موجبة $(c_j - z_j)$ لأنه سيزيد من قيمة دالة الهدف ، وبالتالى يُحسِّن الحل (القرار هو إدخال العمود P_1 أى المتغير X_1) . ونظراً لأن الحل لا يجب أن يحتوى إلا على 4 متغيرات فقط ، حيث يوجد 4 معادلات ، فيمكن تحديد المتغير الذى سيخرج من الحل المبدئى ، والمعيار هو اختيار المتغير الذى بإخراجه نفقد أقل ما يمكن فى مساهمته إلى دالة الهدف ، ويتأتى هذا عن قسمة القيم فى العمود P_0 على معاملات المتغير الذى تقرر إدخاله وهو العمود P_1 ، وذلك على النحو التالى :

$$\frac{400}{1} = 400 \quad , \quad \frac{700}{0} = \infty \quad , \quad \frac{800}{1} = 800 \quad , \quad \frac{1000}{2} = 500$$

ونختار المتغير ذا أقل قيمة لضمان قيود السلبية . وفى هذه الحالة يكون القرار هو إخراج العمود P_3 أى المتغير X_3 من الحل المبدئى . وهذا يعنى أن مجموعة الحل الجديدة التى ستظهر فى جدول السمبلكس الثانى هو المتغيرات X_1, X_4 , X_5, X_6 ويوضع دائرة حول المعامل تقاطع العمود P_3 مع العمود P_1 ، ويتم تعديل المعاملات للعمود P_1 على أساس أن يكون واحد صحيح فى الدائرة والباقى أصفاراً ، وبالتالى ستتعدل جميع المعاملات فى جميع الصفوف . والحل التالى الذى يظهر فى جدول سمبلكس الثانى هو على النحو التالى :

$$P_1 = 400 \; , \; P_2 = 0 \; , \; P_3 = 0 \; , \; P_4 = 700 \; , \; P_5 = 400 \; , \; P_6 = 200$$

وبقيمة جديدة لدالة الهدف هى $Z = 160$ ، أى أن الحل قد تحسَّن بهذه القيمة مقابل إدخال المتغير X_1 وإخراج المتغير X_3 . ويُمثِّل هذا الحل النقطة الركنية المجاورة (4,0) بالشكل .

جدول سمبلكس الثالث. يحدد المتغير الداخل والمتغير الخارج فى الجدول الثانى بنفس المعايير السابقة، والقرار هو إدخال العمود P_2 أى المتغير X_2، وإخراج العمود P_6 أى المتغير X_6 . وتوضع دائرة حول المعامل تقاطع العمود P_2 مع العمود P_6، ويتم تعديل باقى المعاملات للعمود P_2 على أساس واحد صحيح فى الدائرة وأصفار فى الباقى، وبالتالى ستتعدل جميع معاملات الصفوف. وينتج عن ذلك الحل الثالث الذى سيظهر فى الجدول الثالث وهو على النحو التالى:

$$P_1 = 400 \ , \ P_2 = 200 \ , \ P_3 = 0 \ , \ P_4 = 500 \ , \ P_5 = 200 \ , \ P_6 = 0$$

وبقيمة جديدة لدالة الهدف وهى $Z = 220$، أى أن الحل قد تحسَّن من 160 إلى 220 بإدخال المتغير X_2 وإخراج المتغير X_6، ويمثل هذا الحل النقطة الركنية (4,2) بالشكل.

جدول سمبلكس النهائى. يحدد المتغير الداخل والمتغير الخارج فى الجدول الثالث بنفس المعايير السابقة، والقرار هو إدخال P_3 أى المتغير X_3، وإخراج P_5 أى المتغير X_5، وتوضع دائرة حول المعامل تقاطع P_3 مع P_5، ثم يتم تعديل جميع المعاملات فى الجدول الثالث، وينتج عن ذلك الحل التالى الذى سيظهر فى جدول سمبلكس النهائى وهو على النحو التالى:

$$P_1 = 200 \ , \ P_2 = 600 \ , \ P_3 = 200 \ , \ P_4 = 100 \ , \ P_5 = 0 \ , \ P_6 = 0$$

وبقيمة جديدة لدالة الهدف وهى $Z = 260$، أى أن الحل قد تحسَّن من 220 إلى 260 بإدخال المتغير X_3 وإخراج المتغير X_5، ويُمثِّل هذا الحل النقطة الركنية المجاورة (2,6) بالرسم البيانى. ويُعَدّ هذا هو أمثل حل لأننا لو تحركنا إلى النقطة (1,7) أو (0,7)، ستعطى هاتين النقطتين قيمة أقل لدالة الهدف، ويظهر ذلك من الصف $(c_j - z_j)$ فى جدول السمبلكس النهائى الذى يبين عدم وجود قيم موجبة حتى يمكن تحسين الحل بإدخال المتغير التابع لها، وبذلك يصبح هذا حلاً نهائيًا.

نموذج نقل الموارد:

تهدف منظومة النقل الخطى إلى نقل المنتجات من مراكز الإنتاج إلى مراكز التوزيع، بغية الوصول إلى أقل تكلفة ممكنة، بحيث تُلبى أكبر قدر ممكن من حاجة مراكز التوزيع، ولا تتعارض فى نفس الوقت مع الطاقات الإنتاجية لمراكز الإنتاج.

وعمليات نقل المواد أو المنتجات يُنظر لها على أنها ذات قيم غير مضافة ، ولو أن تكلفة النقل تُعَدّ من العوامل المهمة التى يجب أن تؤخذ فى الحسبان قبل تحديد مواقع المصانع والمخازن، بالإضافة إلى مراكز التوزيع ، والكميات المنتجة .

ويمكن تطبيق نماذج البرمجة الخطية العامة ، إذا أمكن صياغة منظومة النقل التى تشمل تخفيض إجمالى تكلفة النقل كدالة الهدف ، آخذًا فى الحسبان الاحتياجات (Demand) والإمدادات (Supply)، إلا أنه يوجد نموذج خاص مُبسَّط للنقل الخطى يمكن تطبيقه ، مراعيًا فى ذلك عدّة شروط ، وهى على النحو التالى :

* دالة الهدف عبارة عن تصغير إجمالى تكاليف النقل .

* تكلفة النقل عبارة عن دالة خطية لأعداد الوحدات المنقولة .

* احتياجات مراكز التوزيع وإمدادات مراكز الإنتاج تقدر بوحدات متجانسة .

* تكلفة النقل للوحدة لا تتغير بتغير الكميات المطلوب نقلها .

* إجمالى الاحتياجات تساوى إجمالى الإمدادات .

ويمكن علاج عدم مساواة الاحتياجات بالإمدادات على النحو التالى :

* إذا كانت الاحتياجات أكبر من الإمدادات ، يضاف متغير إمدادات وهمى يمثل الفرق، وبتكلفة نقل صفر ما دام أن الهدف هو تصغير التكلفة ، حتى يتوافق مع الاحتياج المضاف .

* إذا كانت الإمدادات أكبر من الاحتياجات، يضاف متغير احتياجات وهمى يمثل الفرق، وبتكلفة نقل صفر مادام أن الهدف هو تصغير التكلفة، حتى يمكن امتصاص الإمداد المضاف .

ومنظومة النقل يمكن تحويلها إلى نموذج برمجة خطية ، وتصغير دالة الهدف أى تصغير إجمالى تكلفة النقل ، طبقًا للقيود وهى : مجموع الوحدات المنقولة من مصنع ما إلى جميع المخازن تساوى إجمالى التوريدات (Supply) ؛ ومجموع الوحدات المنقولة إلى مخزن ما من جميع المصانع يساوى إجمالى الاحتياجات(Demand) . ويمكن تمثيل هذه المنظومة بنموذج نقل خطى أولى وآخر ثانوى ، كما هو موضح على النحو التالى :

نموذج أولى (Primal)

صغِّر دالة الهدف

$$Z = \sum\sum c_{ij}\ x_{ij}$$

طبقا للقيود

$\sum x_{ij} = a_i$, for all i

$\sum x_{ij} = b_j$, for all j

وقيود اللاسلبية

$x_{ij} > 0$, integer for i,j

نموذج ثانوى (Dual)

عظم دالة الهدف

$$W = \sum a_i\ u_i + \sum b_j\ v_j$$

طبقًا للقيود

$u_i + v_j < c_{ij}$, for i,j

وقيود المتغيرات

u_i , v_j , unrestricted

حيث:

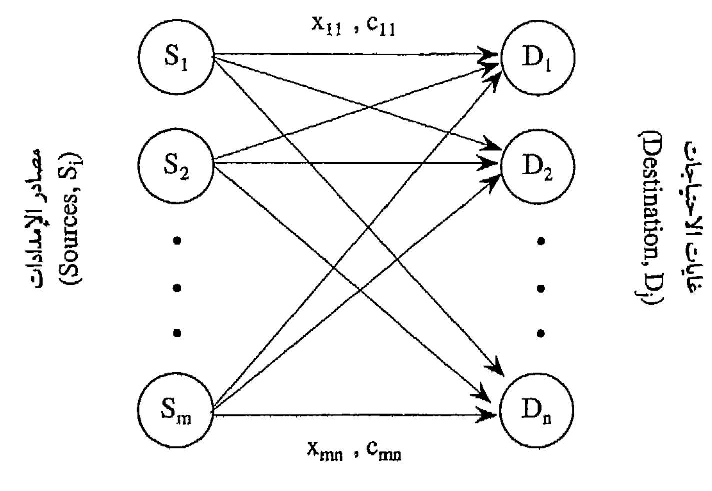
c_{ij} = تكلفة نقل وحدة من مصادر الإنتاج i إلى مراكز التوزيع j .

x_{ij} = عدد الوحدات المنقولة من مصادر الإنتاج i إلى مراكز التوزيع j .

a_i = واردات من مصادر الإنتاج (المصانع أو المعامل المركزية) .

b_j = احتياجات مناطق الاحتياج (المخازن أو مراكز التوزيع) .

ويمكن تمثيل هذا النموذج الرياضى فى منظومة نقل ممثلة فى شكل رقم (04 - 4).



شكل رقم (04 - 4): مصادر وغايات منظومة النقل

ولتوضيح الفكرة، نفترض أن شركة وطنية لتعبئة الزجاجات تمتلك ثلاثة مصانع إنتاجية فى أسوان والمنيا والمنصورة لتعبئة الزيت فى زجاجات شفافة بطاقة إنتاجية ,20 ,30 40 طن يوميًا على التوالى. ويتم توزيع هذا الإنتاج على مراكز التوزيع التى تمتلكها الشركة فى كل من القاهرة والإسكندرية والزقازيق بطاقة احتياجية 40 ,30 ,20 طن يوميًا على التوالى. والمطلوب نقل إنتاج هذه المصانع إلى مراكز الاحتياج بأقل تكلفة. ويمكن توضيح هذه المنظومة على النحو التالى:

	D_3 القاهرة	D_2 الإسكندرية	D_1 الزقازيق	الاحتياجات a_i
أسوان S_1	10 x_{11}	14 x_{12}	8 x_{13}	**20**
المنيا S_2	12 x_{21}	10 x_{22}	12 x_{23}	**30**
المنصورة S_3	8 x_{31}	12 x_{32}	10 x_{33}	**40**
الإمدادات b_j	**40**	**30**	**20**	**90**

ويمكن تمثيل هذه المنظومة فى نموذج برمجة خطية أولى (Primal) على النحو التالى:

صغّر دالة الهدف

$$
\begin{aligned}
Z = {} & 10\,x_{11} + 14\,x_{12} + 8\,x_{13} + \\
& 12\,x_{21} + 10\,x_{22} + 12\,x_{23} + \\
& 8\,x_{31} + 12\,x_{32} + 10\,x_{33}
\end{aligned}
$$

طبقا للقيود

$$
\begin{aligned}
x_{11} + x_{12} + x_{13} &= 20 \\
x_{21} + x_{22} + x_{23} &= 30 \\
x_{31} + x_{32} + x_{33} &= 40 \\
x_{11} + x_{21} + x_{31} &= 40 \\
x_{12} + x_{22} + x_{32} &= 30 \\
x_{13} + x_{23} + x_{33} &= 20
\end{aligned}
$$

وقيود السلبية

$$x_{ij} \text{ (integer)} \geq 0$$

ويمكن إيجاد حل لنموذج النقل هذا بتطبيق أسلوب النقل الخطى، بدءًا بالحل الابتدائى الذى يعرف بطريقة الركن الشمالى الغربى(North-West Corner Method):

إجراء الخطوة الأولى. نبدأ بأول خلية فى الركن الشمالى الغربى x_{11}، ونقارن الحاجات مع الإمدادات، أى a_1 مع b_1، وتسكين الأقل أى $\min(40, 20) = 20$، مع تخفيض الإمدادات a_1 بهذه الكمية. ويتم تكرار نفس الخطوة حتى ننتهى من توزيع الإمدادات على الاحتياجات. ويصبح التوزيع على النحو التالى:

	القاهرة	الإسكندرية	الزقازيق	a_i
أســـوان	[10] 20	[14]	[8]	~~20~~ ~~0~~
المنيـــا	[12] 20	[10] 10	[12]	~~30~~ ~~10~~ 0
المنصـورة	[8]	[12] 20	[10] 20	~~40~~ ~~20~~ 0
b_j	~~40~~ ~~20~~ ~~0~~	~~30~~ ~~20~~ ~~0~~	~~20~~ ~~0~~	

وهذا الحل يعطى تكلفة نقل إجمالية على النحو التالى:

$$Z = c_{11}\ x_{11} + c_{21}\ x_{21} + c_{22}\ x_{22} + c_{32}\ x_{32} + c_{33}\ x_{33}$$

$$= 10\,(20) + 12\,(20) + 10\,(10) + 12\,(20) + 10\,(20)$$

$$= 200 + 240 + 100 + 240 + 200$$

$$= \text{LE } 980$$

مع مراعاة أن باقى المتغيرات x_{ij} تساوى صفراً. وهذه الطريقة إن لم توصلنا إلى الحل الأمثل، فهى تعطينا حلاً أقرب إلى الأمثل، وفى ذلك يمكن استخدام طريقة رياضية

أخرى (Stepping Stone Method)، للوصول إلى الحل الأمثل بسرعة. وكما فى طريقة سمبلكس للبرمجة الخطية، فنموذج النقل الخطى له وجهان: وجه ذات متغيرات أولية (Primal) وهى x_{ij}، ووجه آخر ذات متغيرات ثانوية (Dual) وهى u_i و v_j. ويمكن تعريفهما بأن u_i هى قيمة وحدة زائدة فى المصدر S_i؛ وكذا v_j هى قيمة وحدة زائدة فى الغاية D_j، مع العلم بأن c_{ij} هى تكلفة نقل الوحدة من المصدر S_i إلى الغاية D_j، ونستكمل البحث عن الحل الأمثل.

إجراء الخطوة الثانية. نحسب المتغيرات الثانوية u_i و v_j على أساس العلاقة الجبرية $u_i + v_j = c_{ij}$ للخلايا المشغولة. ونظراً لأن مجموع المتغيرات u_i و v_j تساوى مجموع عدد المصادر وعدد الغايات أى $3 + 3 = 6$، فنجعل أى متغير يساوى صفراً، وعليه نأخذ $u_i = 0$، فيكون القيم الأخرى على النحو التالى:

$$c_{11} = u_1 + v_1 \qquad 10 = 0 + \textcircled{10}$$

$$c_{22} = u_2 + v_2 \qquad 10 = 2 + \textcircled{8}$$

$$c_{32} = u_3 + v_2 \qquad 12 = \textcircled{4} + 8$$

$$c_{21} = u_2 + v_1 \qquad 12 = \textcircled{2} + 10$$

$$c_{33} = u_3 + v_3 \qquad 10 = 4 + \textcircled{6}$$

ويصبح جدول النقل على النحو التالى:

u_i	الزقازيق	الإسكندرية	القاهرة	
$u_1 = 0$	[8]	[14]	[10] 20	أســوان
$u_2 = 2$	[12]	[10] 10	[12] 20	المنيـــا
$u_3 = 4$	[10] 20	[12] 20	[8]	المنصـورة
	$v_3 = 6$	$v_2 = 8$	$v_1 = 10$	v_j

ثم نبدأ فى حساب مؤشرات تقييم الخلايا الفارغة .

إجراء الخطوة الثالثة. تحسب مؤشرات تقويم الخلايا الفارغة δ_{ij} على أساس العلاقة $\delta_{ij} = c_{ij} - u_i - v_j$ للخلايا الفارغة، وهى على النحو التالى :

$$\delta_{12} = c_{12} - u_1 - v_2 = 14 - 0 - 8 = 6 \Rightarrow \delta_{12} > 0$$
$$\delta_{13} = c_{13} - u_1 - v_3 = 8 - 0 - 6 = 2 \Rightarrow \delta_{13} > 0$$
$$\delta_{23} = c_{23} - u_2 - v_3 = 12 - 2 - 6 = 4 \Rightarrow \delta_{23} > 0$$
$$\delta_{31} = c_{31} - u_3 - v_1 = 8 - 4 - 10 = -6 \Rightarrow \delta_{31} < 0$$

ثم اختيار أمثلية الحل. فإذا كان $\varepsilon_{ij} \geq 0$ لجميع الخلايا الفارغة، يكون الحل الحالى هو الأمثل. أما إذا كان $\delta_{ij} < 0$ لخلية فارغة أو أكثر، فهذا يُعَدّ مؤشراً لإمكانية التحسين.

ولما كانت الخلية الفارغة الوحيدة التابعة للقيمة $\delta_{31} = -6$، فيمكن تحسين الحل بإدخال متغير وإخراج آخر ليستمر عدد المتغيرات $m + n - 1$ أى 5 متغيرات.

	القاهرة	الإسكندرية	الزقازيق	a_i
أســـوان	[10] 20	[14]	[8]	**20**
المنيـــا	[12] 0 ~~20~~ ←	~~10~~ 30	[12]	**30**
المنصـورة	[8] ↓ 20 ←	[12] ↓ ~~20~~ 0	[10] 20	**40**
b_j	**40**	**30**	**20**	

ويلاحظ أن الحل الجديد يحتوى على 4 متغيرات فقط أى أقل من 5، ويسمى هذا الحل بالحل المتلاشى أى (Degenerate Solution)، فيضاف متغير وهمى بقيمة صغيرة وليكن ε بحيث يكون عدد متغيرات الحل عبارة عن $m + n - 1$ أى 5 متغيرات. وبذلك يمكن حساب u_i و v_j و δ_{ij} . ويتم اختيار الحل الجديد بنفس الطريقة فى الخطوة الثانية والثالثة، فتحسب المتغيرات الثانوية u_i و v_j للخلايا المشغولة، وذلك على النحو التالى :

$c_{11} = u_1 + v_1$ $10 = 0 + \textcircled{10}$	$c_{22} = u_2 + v_2$ $10 = 2 + \textcircled{8}$	$c_{31} = u_3 + v_1$ $8 = \textcircled{-2} + 10$
$c_{21} = u_2 + v_1$ $12 = \textcircled{2} + 10$		$c_{33} = u_3 + v_3$ $10 = -2 + \textcircled{12}$

فتصبح قيم u_i و v_j على النحو التالى :

	القاهرة	الإسكندرية	الزقازيق	u_i
أســـوان	[10] 20	[14]	[8]	$u_1 = 0$
المنيـــا	[12] ε	[10] 30	[12]	$u_2 = 2$
المنصـورة	[8] 20	[12]	[10] 20	$u_3 = -2$
v_j	$v_1 = 10$	$v_2 = 8$	$v_3 = 12$	

ثم تحسب مؤشرات تقويم الخلايا الفارغة δ_{ij} على النحو التالى :

$$\delta_{12} = c_{12} - u_1 - v_2 = 14 - 0 - 10 = 4 \Rightarrow \delta_{12} > 0$$
$$\delta_{13} = c_{13} - u_1 - v_3 = 8 - 0 - 12 = -4 \Rightarrow \delta_{13} < 0$$
$$\delta_{23} = c_{23} - u_2 - v_3 = 12 - 2 - 12 = -2 \Rightarrow \delta_{23} < 0$$
$$\delta_{32} = c_{32} - u_3 - v_2 = 12 -(-2) - 8 = 6 \Rightarrow \delta_{32} > 0$$

ولما كانت خلية فارغة تابعة للقيمة $\delta_{13} = -4$، وأخرى تابعة للقيمة $\delta_{23} = -2$، فيمكن تحسين الحل بإدخال إحداهما وإخراج أخرى ليستمر عدد المتغيرات 5 كالمعتاد. وقد لوحظ أن القيمة التابعة للخلية $\delta_{13} = -4$ أكبر من القيمة التابعة للخلية $\delta_{23} = -2$، فندخل الخلية ذات القيمة الأعلى فى الحل، وتصبح النتائج على النحو التالى :

	القاهرة	الإسكندرية	الزقازيق	a_i
أسوان	[10] 0 ~~20~~ →	[14]	[8] 20	20
المنيا	[12] ε ↓	[10] 30	[12] ↓	30
المنصورة	[8] 40 ~~20~~ →	[12]	[10] ~~20~~ 0	40
b_j	40	30	20	

ويصبح الحل الأمثل هو على النحو التالى :

	القاهرة	الإسكندرية	الزقازيق	a_i
أسوان	[10]	[14]	[8] **20**	**20**
المنيا	[12] ε	[10] **30**	[12]	**30**
المنصورة	[8] **40**	[12]	[10] ε	**40**
b_j	**40**	**30**	**20**	

وباختيار أمثلية هذا الحل بحساب u_i و v_j للخلايا المشغولة، وكذا تقويم الخلايا الفارغة δ_{ij}، نجد أنه هو الحل الأمثل، ولاتوجد إمكانية للتحسين. وتصبح قيمة دالة الهدف على النحو التالى :

$$Z = c_{13}x_{13} + c_{22}x_{22} + c_{31}x_{31}$$

$$= 8\,(20) + 10\,(30) + 8\,(40)$$

$$= 160 + 300 + 320$$

$$= LE\ 780$$

ويراعـى أن الحــل الأمثــل هــو LE 780، ويــلاحــظ أن الحــل الأمثل ينقــص (780 - 980 = 200) أى LE 200 يوميًا عن الحل المبدئى .

* * *

توجد منظومة أخرى لانتقال البضائع أو الركاب من محطة أو ميناء أو مطار المغادرة إلى محطة انتقالية (Transit)، بغرض الوصول إلى محطة أو ميناء أو مطار الوصول. وتقوم فلسفة نموذج الانتقال(Transhipment Model) على أساس أن الطريق المباشر من مصدر ما إلى غاية ما قد يكون غير متوافر، أو أن تكلفة نقل الوحدة أو سفر الشخص بالطريق غير المباشر أقل منه بالطريق المباشر، أو لاعتبارات أخرى. ويمكن استخدام نموذج النقل فى حل منظومة الانتقال ببعض التعديلات البسيطة .

الفصل الرابع: نماذج تخطيط العمليات

المنظومات الإنتاجية قلّما تخلو من حاجتها إلى اتخاذ قرارات خاصة بشأن تخطيط وجدولة عمليات الإنتاج. وتستخدم أساليب إدارة السعات الإنتاجية (Production Management Capacity) عادة في جدولة الأنشطة التصنيعية أو الخدمية، حسب خطة موضوعة مسبقًا بناء على حجم الطلب، مع ضمان توافر العمالة والمعدات لاستكمال مختلف الأنشطة. وتتنوع أساليب الجدولة حسب نوعية المنظومات الإنتاجية التي يمكن تقسيمها على النحو التالي:

* منظومة الإنتاج المتقطع (Intermittent Production System).
* منظومة الإنتاج الفردى (Unique Production System).
* منظومة الإنتاج المستمر (Continuous Production System).

ويمكن تلخيص خصائص هذه المنظومات حسب معايير معينة فى الجدول رقم (08 - 4).

جدولة رقم (08 - 4): خصائص أساليب جدولة ومتابعة الإنتاج

رقم	المعايير	جدولة المشغولات	جدولة المشروعات	جدولة الخطوط
01	نوعية المنتج	منتج غير نمطى	منتج فريد فى نوعه	منتج نمطى
02	هدف الإنتاج	استفادة مثلى من السعة المتوافرة	توزيع أمثل للموارد لتقليل الوقت والتكلفة	تقليل وقت وتكلفة تغيير التجهيزات
03	نوعية الإنتاج	إنتاج متقطع (على دفعات)	إنتاج مخصوص	إنتاج مستمر
04	حجم الإنتاج	إنتاج منخفض	إنتاج فردى	إنتاج كمى
05	معدات الإنتاج	معدات ذات أغراض عامة	معدات ذات أغراض متنوعة	معدات ذات أغراض خاصة
06	فترات الإنتاج	فترات متقطعة	فترات وقتية	فترات طويلة
07	طرق التشغيل	مرونة متوسطة	مرونة عالية	مرونة محدودة
08	مهارة العمالة	مهارة متوسطة	مهارة عالية	مهارة عادية
09	مراقبة المخزون	مخزون خامات متنوع	مخزون خامات متوافر	مخزون خامات غير ضرورى
10	مستوى الرقابة	رقابة حازمة	رقابة فعالة	رقابة روتينية
11	أساليب الجودة	ضمان جودة المشغولات	ضمان تنفيذ المشروع	ضمان تدفق الإنتاج

ومنظومة الإنتاج المتقطع تتطلب جدولة المشغولات (Jobs) وتحميل الماكينات (Machines)، بشرط تقليل وقت الماكينات الضائع (Machine Idle Time)، أو تخفيض وقت انتظار المشغولات (Job Waiting Time)، أو تصغير تكلفة تشغيل المشغولات (Job Processing Cost). والجدولة المثالية تحتاج إلى تدفق المشغولات بمعدل مناسب، يمنع من تراكم المشغولات بين المعدات، وتقلل من انتظار العملاء. ويعرف هذا الأسلوب بأسلوب جدولة المشغولات (Job-Shop Sequencing Approach).

ومنظومة الإنتاج الفردى تتطلب تخطيط المشروع (Project) بشرط استكمال جميع الأنشطة (Activities) ـ التى تبدأ وتنتهى بحلقات صغيرة (Events) ـ فترة زمنية معينة. والتخطيط المثالى للمشروع يحتاج إلى تنفيذ جميع الأنشطة فى أقل فترة ممكنة، مع إمكانية تغيير تسلسل الأنشطة، وتحديد المسار الحرج الذى يترتب عنه تأخير استكمال المشروع. ويعرف هذا الأسلوب بأسلوب تخطيط المشروعات (Project Scheduling Approach).

ومنظومة الإنتاج المستمر تتطلب اتزان خط تجميع (Assembly Line) سلع نمطية متشابهة بضم العمليات (Tasks) فى مجموعات، وبشرط تساوى أو تقارب زمن تشغيل كل مجموعة، أى الدورة الزمنية (Cycle Time)، وهذا يعنى الزمن الذى تترك فيه سلعة واحدة خط الإنتاج. ويمكن استكمال تشغيل عمليات أى مجموعة فى أقل من زمن الدورة، فينتج عنه وقت ضائع (Idle Time) فى هذه المجموعة، ويعرف هذا الأسلوب بأسلوب اتزان الخط (Line Balancing Approach).

نموذج جدولة المشغولات:

تقوم منظومة الإنتاج المتقطع بتصنيع مشغولات غير نمطية، وبكميات محدودة، وحسب الطلب، مستخدمًا معدات ذات أغراض عامة. ففى الورش يتم تشغيل كل مشغولة (Job) على عدة ماكينات بترتيب معين(Machine Ordering)، وبأوقات تشغيل متباينة (Processing Times)، وتنفرد كل مشغولة عن الأخرى فى ترتيب ووقت التشغيل. وقد يحدث فى أثناء التشغيل انتظار المشغولة لحين فراغ الماكينة(Job Waiting Time)، وقد يحدث أيضًا انتظار الماكينة لحين توافر المشغولة (Machine Idle Time). والهدف هو جدولة هذه المشغولات على الماكينات بشرط تقليل إجمالى وقت الماكينات الضائع.

ويمكن شرح هذا الأسلوب عمليًا بمثال بسيط. نفترض وجود ورشة لإصلاح السيارات، لديها خمس سيارات A وB وC و D وE مطلوب إصلاحها فى عمليتين هما:

عملية السمكرة (Body Job)، وعملية الدهان (Painting Job) . وأوقات التشغيل أو الإصلاح بالساعات موضحة على النحو التالى:

العمليات	أوقات تشغيل المشغولات بالساعات				
	A	B	C	D	E
ورشة الصاج	5	4	8	7	6
ورشة الدهان	3	9	2	4	10

ولإيجاد الجدولة المثلى لهذه المنظومة، يمكن تطبيق قاعدة «جونسون» الشهيرة التى تتعرف على أقل وقت تشغيل. فإذا كانت تخص ورشة الصاج، نجدول هذه المشغولة أولاً. أما إذا كانت تخص ورشة الدهان، فتجدول هذه المشغولة فى الآخر، ثم تحذف هذه المشغولة من الجدول، ويتكرر تطبيق هذه القاعدة تباعًا على باقى المشغولات. ويراعى أن المشغولات التى لها نفس وقت التشغيل فى الورشتين، يمكن جدولتها فى البداية أو النهاية.

وتطبيقًا لهذه القاعدة، نجد أن المشغولة C لها أقل وقت تشغيل وهو 2 فى ورشة الدهان أى الورشة الثانية، وبذلك تجدول المشغولة C فى النهاية على النحو التالى:

				C

نشطب المشغولة C من الجدول، ونبحث عن أقل وقت تشغيل فى المنظومة الباقية، فنجد أن المشغولة A لها وقت تشغيل 3 فى ورشة الدهان أيضًا، وبذلك نجدول المشغولة A فى النهاية على النحو التالى:

			A	C

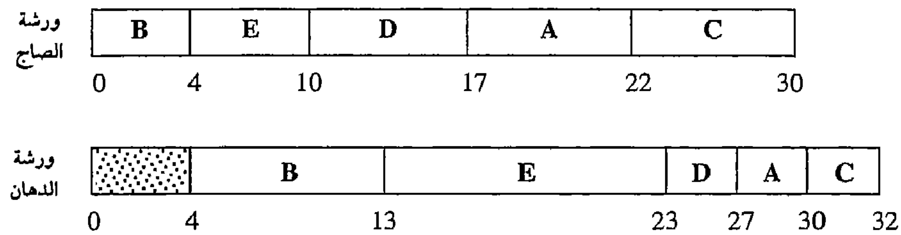
نشطب المشغولة A من الجدول أيضًا، فتصبح المشغولة B لها أقل وقت تشغيل وهو 4 فى ورشة الصاج أى الورشة الأولى، ونفس وقت التشغيل للمشغولة D ولكن فى ورشة الدهان أى الورشة الثانية، فنجدول المشغولة D و B على النحو التالى:

B		D	A	C

ثم نجدول المشغولة الباقية فى المكان الخالى . وبذلك تكون الجدولة المثلى لجميع العمليات (Optimal Sequence) على النحو التالى :

B	E	D	A	C

ويمكن تمثيل هذه الجدولة فى خريطة جانت (Gantt Chart) على النحو التالى :



فيصبح إجمالى وقت التشغيل لجميع المشغولات فى ورشة الصاج وورشة الدهان 32 ساعة ، ونجد أن الوقت الضائع فى ورشة الدهان فقط وهو 4 ساعات .

نموذج جدولة المشروعات:

تقوم منظومة الإنتاج الفردى بتخطيط مشروع فريد فى نوعه ، منفذ فى موقع معين ، باستخدام معدات ذات أغراض متنوعة . ويمثل هذا المشروع منظومة تضم مجموعة من الأنشطة (Activities) الفريدة ، وهى متداخلة ومترابطة بعضها مع بعض وفق ترتيب منطقى معين . وهذا يعنى أن بعض هذه الأنشطة لا يمكن البدء فى تنفيذها قبل الانتهاء من تنفيذ البعض الآخر . وكل نشاط له بداية ونهاية (Events) ، ويحتاج إلى موارد مناسبة من خامات ومعدات وعمالة لتنفيذه . ومن أمثلة هذه المشروعات تشييد كوبرى على ضفاف النيل ، أو بناء محطة توليد كهرباء ، أو تسويق منتج معين جديد .

ومشروع بناء عمارة سكنية مثلاً تحوى عدّة أنشطة ، تبدأ باستخراج ترخيص البناء ، ثم تطهير موقع العمارة ، وحفر أرض الموقع ، وتنفيذ أساسات المبنى ، وإقامة الأعمدة الخرسانية ، وصب السقف الخرسانى ، وبناء حوائط الطوابق ، وتنفيذ أعمال المرافق من كهرباء ومياه وصرف صحى ، وبياض الحوائط والسقوف ، وتكسية أرضيات الشقق ،

وتشطيبات داخل وخارج العمارة. ومن البديهي أنه يمكن القيام بتطهير الموقع في نفس الوقت الذي يبدأ فيه استخراج الترخيص، أي يتزامن هذان النشاطان، في حين أنه لا يمكن إقامة الأعمدة الخرسانية قبل تنفيذ الأساسات، أو صب السقف قبل صب الأعمدة.

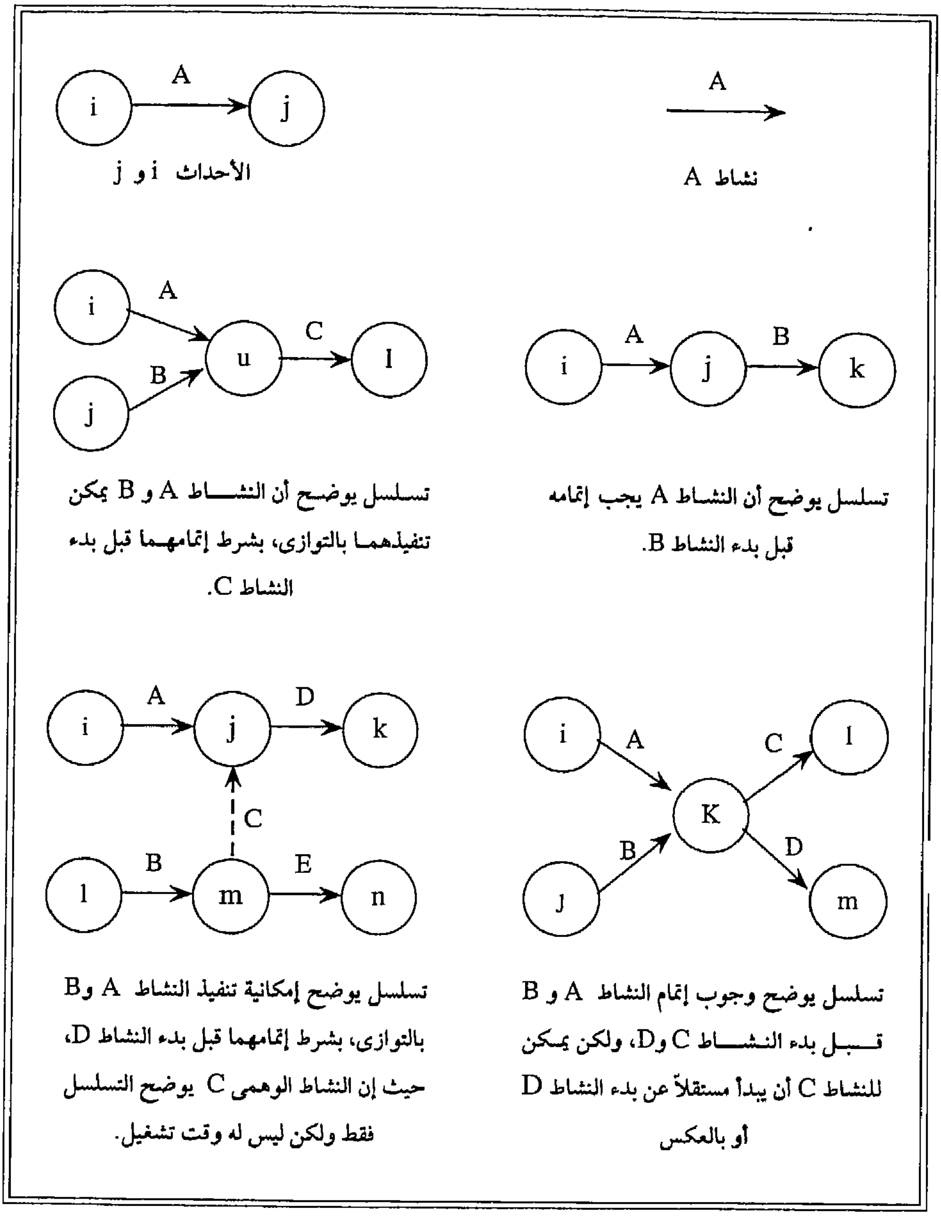
وتُمثِّل المنظومة بشبكة من أنشطة وأحداث معبرة عن تسلسلها وتتابعها وترابطها وتداخلها. وتبدأ الشبكة بحلقة تُمثِّل بدء المشروع ككل، وينتهي بحلقة أخرى تُمثِّل نهاية المشروع. ويمكن إضافة أنشطة وهمية بين الأحداث المختلفة للشبكة، للمحافظة على التسلسل المنطقي للأنشطة وأحداثها. وتجرى الحسابات الخاصة بالمسار الحرج عن طريق تحديد الوقت المبكر والوقت المتأخر لأي من أحداث مختلف الأنشطة، وذلك عن طريق معرفة أزمنة تنفيذ أي نشاط؛ وتحديد الزمن الراكد (Slack Time) لجميع الأحداث، وبالتالي يمكن تحديد الأحداث الحرجة، ثم تعيين المسار الحرج الذي يؤثر على استكمال المشروع في الوقت المحدد. ويمثل هذا المسار الحرج أطول وقت يمكن تنفيذ المشروع فيه. ويمكن استخدام أسلوب المسار الحرج (Critical Path Method, CPM)، أو أسلوب تقويم ومراجعة البرنامج (Program Evaluation and Review Technique, PERT).

وإجراءات بناء الشبكة الممثلة لأنشطة وأحداث المشروع، وتحديد الأنشطة الحرجة، وتعيين المسار الحرج الذي يمر بالأنشطة الحرجة، تسمح لإدارة المشروع بتشديد الرقابة والمتابعة للأنشطة الحرجة، وذلك عن طريق تحليل النتائج المستخلصة من حسابات أنشطة وأحداث الشبكة. ويتلخص التحليل في تحديد أنصبة الزمن الراكد (Slack Times) على مسار غير حرج، ومراقبة وضبط المشروع، وبناء المخطط الزمني للمشروع، وتنظيم استخدام الموارد المتوافرة للمشروع. ويمكن شرح هذا الأسلوب عمليًا بمثال عددي بسيط. فنفترض أن المطلوب بناء محطة توليد كهرباء في إحدى المدن.

إجراء الخطوة الأولى. يجرى تنفيذ المشروع بتمثيله بشبكة تضم مجموعة من الأنشطة (Activities) الممثلة بأسهم (Arrows)، ومجموعة من الأحداث (Events) الممثلة بحلقات (Nodes) معبرة عن تسلسل وترابط هذه الأنشطة. ولبناء أي شبكة يمكن توضيح هياكل الحلقات والأسهم في الشكل رقم (05 - 4).

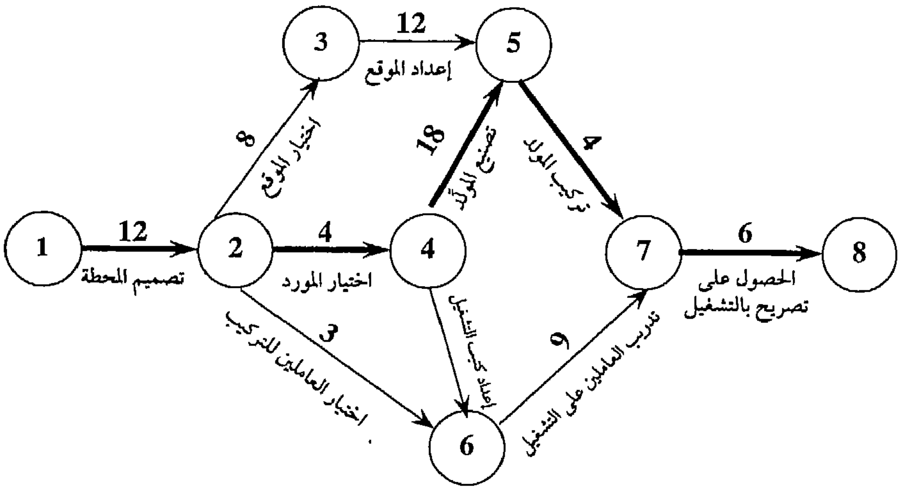
أما الشبكة التي تمثل أنشطة وأحداث مشروع بناء محطة توليد الكهرباء، فهي توضح التدخلات والترابطات والتسلسلات بين الأنشطة، كما في الشكل رقم (06 - 4). فمثلاً النشاط الذي يمثل تركيب المولد وهو نشاط 7 ← 5 لا يمكن أن يبدأ قبل النشاط الذي يمثل إعداد الموقع وهو نشاط 5 ← 3، والنشاط الذي يمثل تصنيع المولد وهو نشاط 5 ← 4

على مسار مختلف، ولما كان هذان النشاطان 5 ← 3 و 5 ← 4 ينتهيان عند الحدث (5)، فأيهما قد يؤخر النشاط الذى يمثل تركيب المولد وهو نشاط 7 ← 5 .



شكل رقم (05 - 4): تسلسل وترابط أنشطة وأحداث الشبكة.

إجراء الخطوة الثانية. يُقدر زمن تنفيذ كل نشاط فى الشبكة، ثم يوضع على السهم التابع له، ويعنى أن هذا الزمن هو الوقت الذى يمكن تنفيذ نشاط ما فيه، ويوجد طريقتين لتقدير هذا الزمن، وهما على النحو التالى:



شكل رقم (06 - 4): أزمنة أنشطة شبكة بناء محطة توليد كهرباء بأسلوب CPM

* تقدير زمن تنفيذ كل نشاط، باستخدام أسلوب CPM، بتحديد رقم ثابت ومحدد لزمن التنفيذ ويرمز له t_{ij} أى زمن تنفيذ نشاط $j \rightarrow i$، وهو موضح على كل نشاط فى الشكل رقم (06 - 4)، أو

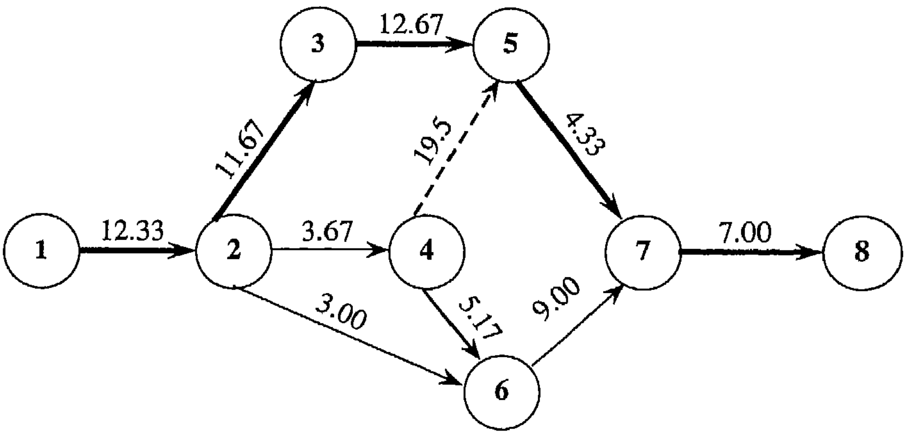
* تقدير زمن تنفيذ كل نشاط، باستخدام أسلوب PERT، بتحديد ثلاثة تقديرات وهى عبارة عن: تقدير متفائل (Optimistic Estimate, t_o) وهو أقصر زمن ممكن لتنفيذ النشاط؛ وتقدير راجح (Most Likely Estimate, t_m) وهو تقدير مبنى على خبرات سابقة فى تنفيذ أنشطة مماثلة؛ وتقدير متشائم (Pessimistic Estimate, t_p) وهو أطول زمن ممكن لتنفيذ المشروع، ثم يحسب متوسط موزون (Mean) للتقديرات الثلاثة t_{ij}، ومدى تشتت الانحراف (Variance) للتقديرات الثلاثة σ_{ij}^2 على النحو التالى:

$$t_{ij} = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6} \quad , \quad \sigma_{ij}^2 = \left(\frac{t_p - t_o}{6} \right)^2$$

وقد تم حساب التقديرات t_{ij} لمختلف الأنشطة $j \rightarrow i$ فى الشبكة، كما هو موضح فى الجدول رقم (09 - 4)، وقد سُجلت هذه التقديرات على أنشطة الشبكة المبينة فى الشكل رقم (07 - 4).

جدول رقم (09 - 4): تقديرات أزمنة أنشطة بناء محطة توليد كهرباء بأسلوب PERT

نـــوع النشـــاط	رقم النشاط	تقدير الأزمنة			متوسط	تشتت
		t_o	t_m	t_p	$\frac{t_o+4t_m+t_p}{6}$	$\left(\frac{t_p-t_o}{6}\right)^2$
تصميم المحطة	1 → 2	10	12	16	12.33	1.00
اختيار الموقع	2 → 3	2	8	36	11.67	32.11
اختيار المورد	2 → 4	1	4	5	3.67	0.44
اختيار العاملين للتركيب	2 → 6	2	3	4	3.00	0.11
إعداد الموقع	3 → 5	8	12	20	12.67	4.00
تصنيع المولد	4 → 5	15	18	30	19.50	6.25
إعداد كتيب التشغيل	4 → 6	3	5	8	5.17	0.69
تركيب المولد	5 → 7	2	4	8	4.33	1.00
تدريب العاملين للتشغيل	6 → 7	6	9	12	9.00	1.00
حصول على تصريح للتشغيل	7 → 8	4	6	14	7.00	2.78



شكل رقم (07- 4): أزمنة أنشطة شبكة بناء محطة توليد كهرباء بأسلوب PERT

إجـراء الخطوة الثـالثـة. يحسب الوقت المبكر والوقت المؤخر لكل من الأحداث والأنشطة على أساس زمن تنفيذ كل نشاط، باستخدام أسلوب CPM . فعند إدارة أنشطة المشروع، عادة ما يكون من المفيد التعرف على أقرب وقت ممكن، وآخر وقت ممكن

لبدء أو إتمام نشاط معين بدون التأثير على وقت استكمال المشروع . لذلك فإنه يمكن حساب أوقات الأنشطة المختلفة على أساس حساب الوقت المبكر للحدث (i) أى (Earliest Event Time) ، وهو على النحو التالى :

$$E_1 = \qquad\qquad\qquad\qquad = 0$$

$$E_2 = E_1 + t_{12} = 0 + 12 = 12$$

$$E_3 = E_2 + t_{23} = 12 + 8 = 20$$

$$E_4 = E_2 + t_{24} = 12 + 4 = 16$$

$$E_5 = \max \begin{bmatrix} E_3 + t_{35} \\ E_4 + t_{45} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 20 + 12 \\ 16 + 18 \end{bmatrix} = 34$$

$$E_6 = \max \begin{bmatrix} E_2 + t_{26} \\ E_4 + t_{46} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 12 + 3 \\ 16 + 5 \end{bmatrix} = 21$$

$$E_7 = \max \begin{bmatrix} E_5 + t_{57} \\ E_6 + t_{67} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 34 + 4 \\ 21 + 9 \end{bmatrix} = 38$$

$$E_8 = E_7 + t_{78} = 38 + 6 = 44$$

والوقت المؤخر للحدث (j) أى (Latest Event Time) ، وهو على النحو التالى :

$$L_8 = E_8 \qquad\qquad = 44$$

$$L_7 = L_8 - t_{78} = 44 - 6 = 38$$

$$L_6 = L_7 - t_{67} = 38 - 9 = 29$$

$$L_5 = L_7 - t_{57} = 38 - 4 = 34$$

$$L_4 = \min \begin{bmatrix} L_3 - t_{t5} \\ L_6 - t_{46} \end{bmatrix} = \min \begin{bmatrix} 34 - 18 \\ 29 - 5 \end{bmatrix} = 16$$

$$L_3 = L_5 - t_{35} = 34 - 12 = 22$$

$$L_2 = \min \begin{bmatrix} L_3 - t_{23} \\ L_4 - t_{24} \\ L_6 - t_{26} \end{bmatrix} = \min \begin{bmatrix} 22 - 8 \\ 16 - 4 \\ 29 - 3 \end{bmatrix} = 12$$

$$L_1 = L_2 - t_{12} = 12 - 12 = 0$$

فيمكن حساب الوقت المبكر لبداية الأنشطة (Earliest Start Activity Time, ES_{ij})، والوقت المبكر لنهاية الأنشطة (Earliest Finish Activity Time, EF_{ij})، وذلك على النحو التالى :

$$ES_{ij} = E_i$$

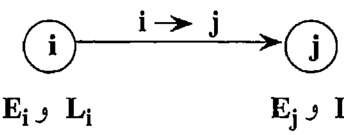
$$EF_{ij} = ES_{ij} + t_{ij} = E_i + t_{ij}$$

وكذا حساب الوقت المؤخر لبداية الأنشطة (Latest Start Activity Time, LS_{ij})، والوقت المؤخر لنهاية الأنشطة (Latest Finish Activity Time, LF_{ij}) ، وذلك على النحو التالى :

$$LF_{ij} = L_j$$

$$LS_{ij} = LF_{ij} - t_{ij} = L_j - t_{ij}$$

كما يمكن حساب الوقت الراكد (Slack Time, TS_{ij}) لنشاط ما، والوقت الراكد للنشاط $i \rightarrow j$ هو الفرق بين الوقت المؤخر لبداية النشاط (LS_{ij})، والوقت المبكر لبداية نفس النشاط (ES_i)، أو الفرق بين الوقت المؤخر لنهاية النشاط (LF_{ij}) والوقت المبكر لبداية نفس النشاط (EF_{ij})، ويمكن حسابه على النحو التالى :



$$TS_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij} = L_j - (E_i + t_{ij}) = L_j - E_i - t_{ij}$$

ويلاحظ أنه إذا استعمل نشاط ما وقته الراكد فى مساره، تصبح جميع الأنشطة التى تتبع نفس المسار حرجة. فالأنشطة التى تقع على المسار الحرج، يكون وقتها الراكد صفراً دائمًا، إذ إن الوقت المخطط لتكملة المشروع هو نفس الوقت المبكر لنهاية آخر نشاط. كما أن الوقت الراكد الحر (Free Slack) هو الزمن الذى يمكن تأخيره فى نشاط معين بدون تأخير الوقت المبكر لبداية أى نشاط يتبعه (Succeeding Activity)، كما هو موضح فى الجدول رقم (10 - 4) على أساس أزمنة الأنشطة بأسلوب CPM مبينًا الأنشطة الحرجة بالنجوم.

جدول رقم (10 - 4):حسابات الوقت المبكر والمؤخر والراكد مستخدمًا الأزمنة بأسلوب CPM

i → j	t_{ij}	ES_{ij}	LS_{ij}	EF_{ij}	LF_{ij}	TS_{ij}	C_p
1 → 2	12	0	0	12	12	0	*
2 → 3	8	12	14	20	22	2	.
2 → 4	4	12	12	16	16	0	*
2 → 6	3	12	26	15	29	14	
3 → 5	12	20	22	32	34	2	
4 → 5	18	16	16	34	34	0	*
4 → 6	5	16	24	21	29	8	
5 → 7	4	34	34	38	38	0	*
6 → 7	9	21	29	30	38	8	
7 → 8	6	38	38	44	44	0	*

ويوضح الشكل رقم (06 - 4) والجدول رقم (10 - 4) السابقان أن الوقت الراكد الموجب (Positive Slack) يعنى أن النشاط متقدم على الجدولة (Activity is Ahead of Schedule) ؛ وإذا كان الوقت الراكد سالب (Negative Slack) فهذا يعنى أن النشاط متأخر عن الجدولة (Activity is behind Schedule) ؛ أما إذا كان الوقت الراكد صفرًا ، فإنه يعنى أن النشاط يقع على المسار الحرج (Activity is Critical) . ويتضح من الشكل رقم (06 - 4) السابق أن المسار الحرج هو على النحو التالى :

1 → 2 → 4 → 5 → 7 → 8

ويحتاج إلى 44 شهرًا لاستكمال المشروع ، وذلك على أساس التقدير الثابت لأزمنة تنفيذ الأنشطة بواسطة CPM .

أما إذا تمت حسابات الوقت المقدم والمؤخر والراكد على أساس التقدير الإحصائى لأزمنة تنفيذ الأنشطة بواسطة PERT ، وهو المبين فى الجدول رقم (09 - 4)، أصبح المسار الحرج كما هو موضح فى الشبكة بالشكل رقم (07 - 4) السابق، حيث يتضح أن المسار الحرج هو على النحو التالى :

1 → 2 → 3 → 5 → 7 → 8

ويحتاج إلى 48 شهراً لاستكمال المشروع، وذلك على أساس التقدير الاحصائى لأزمنة تنفيذ الأنشطة بواسطة PERT.

نموذج جدولة الخطوط:

تقوم منظومة الإنتاج المستمر بتصنيع وتجميع سلع نمطية، مستخدمة فى ذلك خطوط تجميع مصممة خصيصاً لكل سلعة، وبمعدات ذات أغراض خاصة، وبنفس التسلسل، وبكميات كبيرة. وتحتاج جدولة خطوط تجميع السلع الرأسمالية والمنزلية كالسيارات والثلاجات والسخانات والغسالات، إلى متابعة تدفق العمليات التى تتحكم فى معدل تدفق المواد الأولية، والمكونات المجزأة، والأجزاء النهائية.

وتهدف جدولة هذه المنظومة إلى اتزان خطوط التجميع، بشرط تقليل الوقت الضائع، ويتأتى هذا عن طريق تبسيط العمليات (Tasks) إلى أقل ما يمكن مثل عملية ربط صامولة فى مسمار، ثم تحديد التتابع التكنولوجى(Technological Precedence Relationships) بين العمليات، ومعرفة زمن تشغيل(Performance Time) كل عملية، ثم تمثيل هذه المنظومة فى شبكة موضحة بها العمليات، والتتابع التكنولوجى وزمن التشغيل.

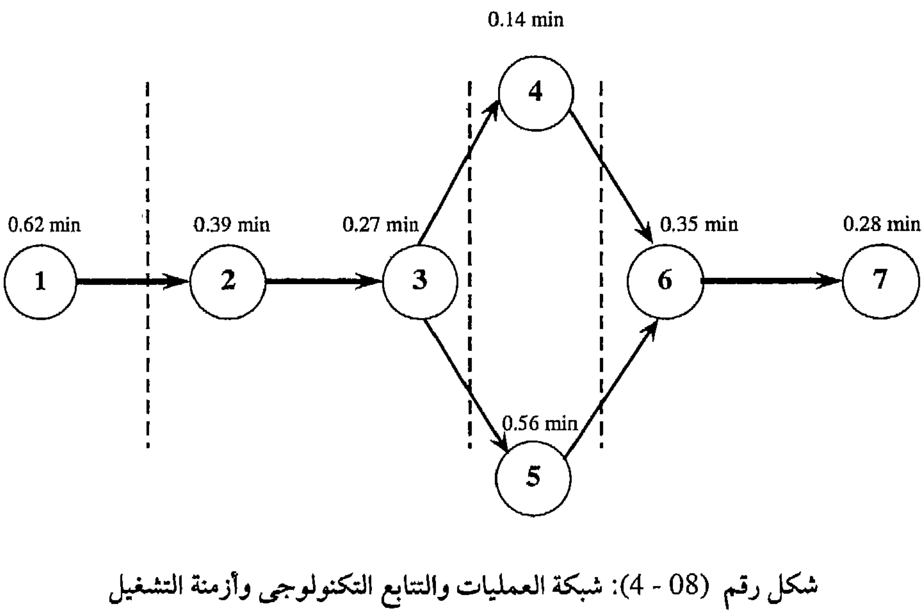
وتعالج هذه المنظومة عن طريق تقسيم (Sub-dividing) جميع العمليات على عدد من محطات العمل (Work Stations)، أو تجميع (Grouping) عدد من العمليات فى محطة عمل واحدة، وذلك حسب تسلسل العمليات، وبحيث يكون مجموع أزمنة تشغيل العمليات فى كل محطة مساويًا أو أقل تقريبًا عن زمن الدورة (Cycle Time) أى زمن التشغيل المتوافر لكل محطة، أو الزمن بين إخراج وحدتين متتابعتين من خط التجميع.

ونظراً لأن منظومات خطوط تجميع السيارات والثلاجات وغيرها تتميز بكثرة العمليات، وطول الخطوط، وحجم الإنتاج، فقد أجريت محاولات نظرية وتطبيقية لمعالجة اتزان الخطوط، وتقليل الوقت الضائع. وتوجد بعض الأساليب مثل (COMSOAL) التى تعتمد على توليد عينات بطريقة منحازة (Biased Sampling)، باستخدام الحاسب الآلى، حيث يتولد عدد كبير من الحلول الممكنة (Feasible Solutions) من خلال توليد عينات بشروط معينة، ثم يتم اختيار الأمثل لاتزان الخط. ومن المعروف

أن احتمال الحصول على أمثل حل ممكن يتعلق بحجم العينات المأخوذة. وقد تم تطبيق هذا الأسلوب فى شركة كرايزلر بأمريكا لإنتاج السيارات على خط تجميع وهى تصل عملياته إلى 1,000 عملية، وتم التوصل إلى تجميع هذه العمليات فى 203 محطات بإجمالى 1.48% وقت ضائع، وفى 200 محطة بدون وقت ضائع.

أما الأسلوب الآخر ـ الذى يعتمد على استخدام بعض الإجراءات العشوائية البسيطة ـ فإنه يُعرف بالطريقة العشوائية (Heuristics Method). ويتم فى هذه الطريقة توليد شبكة العمليات، مع مراعاة التتابع التكنولوجى، ثم تحريك بعض هذه العمليات من مجموعة إلى مجموعة أخرى على أساس قواعد عشوائية معينة لاتخاذ القرارات التتابعية، وتتطلب هذه الطريقة مهارة للحصول على حل جيد فى وقت قصير. وقد طبقت هذه الطريقة على خط تجميع أجهزة تليفزيون مكون من 133 عملية، وتم التوصل إلى نتائج طيبة.

ويمكن شرح أسلوب اتزان خط التجميع بمثال عددى. نفترض وجود خط تجميع جهاز كهربائى صغير، عبارة عن 7 عمليات، والشكل رقم (08 - 4) يوضح الشبكة وهى تتكون من العمليات السبعة، والتتابع التكنولوجى، وأزمنة التشغيل.



شكل رقم (08 - 4): شبكة العمليات والتتابع التكنولوجى وأزمنة التشغيل

والعمليات بخط التجميع عبارة عن: تثبيت طبق قاعدة فى عملية (1)، وتركيب ملف كهربى فى عملية (2)، وتوصيلات كهربائية فى عملية (3)، وإدخال سوستة فى عملية (4)، وإدخال مثبت فى عملية (5)، ولحام وصلات فى عملية (6)، واختبار الجهاز فى عملية (7).

ويعمل خط التجميع 7 ساعات يوميًا، أى 420 دقيقة فى اليوم، وينتج 600 وحدة يوميًا، أى تخرج من الخط وحدة واحدة كل 0.70 دقيقة. والمطلوب تحديد زمن الدورة الإنتاجية، وتحديد العمالة المطلوبة نظريًا، وتحديد عدد المحطات، وكفاءة اتزان خط التجميع. ويمكن عمل الحسابات اللازمة على النحو التالى:

$$\text{زمن الدورة الإنتاجية} = \left(\frac{\text{وقت الإنتاج المتوافر لكل فترة زمنية}}{\text{عدد الوحدات المطلوب إنتاجها فى فترة زمنية}}\right)$$

$$= \left(\frac{\text{7 ساعات} \times \text{60 دقيقة / ساعة}}{\text{600 وحدة / يوم}}\right)$$

$$= \frac{420}{600} = \text{0.70 دقيقة}$$

أى تخرج الوحدة أو السلعة من خط الإنتاج كل 42 ثانية.

$$\text{تحديد العمالة المطلوبة} = \left(\frac{\text{إجمالى أزمنة تشغيل جميع العمليات على الخط}}{\text{زمن الدورة الإنتاجية}}\right)$$

$$= \left(\frac{0.28 + 0.35 + 0.56 + 0.14 + 0.27 + 0.39 + 0.62}{0.70}\right)$$

$$= \frac{2.61}{0.70} = \text{3.73 عامل}$$

أى يتطلب خط التجميع عددًا من العمال لا يقل عن 3.73 عامل نظريًا.

ولتحديد عدد المحطات، يمكن البدء من يسار الشبكة، ومحاولة تجميع العمليات فى محطات عمل، بشرط أن يكون إجمالى أزمنة تشغيل كل مجموعة من العمليات فى محطة معينة لا تزيد عن زمن الدورة الإنتاجية، ويلاحظ أن أقصى عدد للمحطات هو 7، بافتراض أن كل عملية فى محطة عمل واحدة.

ويراعى أن المحطة الأولى تتضمن العملية (1) فقط لأن زمن تشغيلها 0.62 دقيقة، ولا يمكن إضافة عملية أخرى لهذه المحطة، حيث إن إجمالى أزمنة العمليتين (0.39 + 0.62 = 1.01)، أى أكبر من زمن الدورة الإنتاجية المحسوبة وهى 0.70 دقيقة.

أما المحطة الثانية فتجمع أزمنة عملية (2) مع عملية (3) بإجمالى زمن تشغيل (0.39 + 0.27 = 0.66)، أى أقل من زمن الدورة الإنتاجية، وهكذا نصل إلى 4 محطات على النحو التالى:

رقم المحطات	رقم العمليات	إجمالى زمن التشغيل	إجمالى الوقت الضائع
1	(1)	0.62	0.08
2	(2) و (3)	0.66	0.04
3	(4) و (5)	0.70	0
4	(6) و (7)	0.63	0.07
إجمالى الوقت الضائع			**0.19**

فيكون عدد محطات العمل 4، ويمكن حساب كفاءة اتزان خط التجميع على النحو التالى:

$$\text{كفاءة اتزان خط التجميع} = \left(\frac{\text{إجمالى أزمنة تشغيل جميع العمليات على الخط}}{\text{إجمالى أوقات العمال فى جميع المحطات على الخط}}\right)$$

$$= \frac{2\ 61}{(4)\ (0.70)} = \frac{2.61}{2.80} = 93\ \%$$

كما يمكن حساب كفاءة اتزان خط التجميع بطريقة أخرى، وهى على النحو التالى:

$$\text{كفاءة اتزان خط التجميع} = \left(\frac{\text{أعداد العمال المطلوبة نظريًا}}{\text{أعداد العمال المطلوبة فعليًا}} \right)$$

$$= \frac{3\ 73}{4\ 00} = 93\ \%$$

أى أن كفاءة الخط تصل إلى % 93 بأى من الطريقتين.

وقد روعى فى هذا المثال أنه تم تحديد عدد محطات العمل على أساس معرفة حجم الإنتاج وأزمنة تشغيل العمليات. أما إذا عرف عدد المحطات مسبقًا، فإنه يمكن استخدام مخرجات خط الإنتاج، لتحديد زمن دورة الإنتاج المثلى. فإذا فرضنا أن المطلوب تجميع العمليات السبعة فى 3 محطات عمل فقط، فالمطلوب تحديد زمن دورة الإنتاج الهادفة، وأنسب مجموعات عمل فى كل محطة بحيث ينتج عنه أكبر إنتاج فى الساعة، وحجم الإنتاج فى يوم كامل 7ساعات. وتحدد زمن دورة الإنتاج الهادفة على النحو التالى:

$$\text{زمن دورة الإنتاج الهادفة} = \left(\frac{\text{إجمالى أزمنة التشغيل}}{\text{عدد محطات العمل}} \right)$$

$$= \frac{2.61}{3.00} = 0.87 \text{ دقيقة / محطة}$$

ويصبح أقصى حجم إنتاج فى أقصر زمن لدورة إنتاج هى على النحو التالى:

رقم البدائل	محطة (1)	محطة (2)	محطة (3)	زمن الدورة
1	عملية (1) 0.62	عملية (2) و (3) 0.66	عملية (4) و (5) و (6) و (7) 1.33	1.33
2	عملية (1) 0.62	عملية (2) و (3) و (4) 0.80	عملية (5) و (6) و (7) 1.19	1.19
3	عملية (1) و(2) 1.01	عملية (3) و (5) 0.83	عملية (4) و (6) و (7) 0.77	1.01

ويتـضح من ذلك أن البـديل الثـالث هو الأفـضل، لأن زمن دورة الإنتـاج أقل من أزمنة دورات الإنتاج الأخرى. ويمكن حساب حجم الإنتاج على النحو التالى :

$$\text{حجم الإنتاج فى يوم كامل} = \left(\frac{\text{وقت الإنتاج المتوافر لكل فترة زمنية}}{\text{زمن دورة الإنتاج}}\right)$$

$$= \left(\frac{\text{420 دقيقة / يوم}}{\text{1.10 دقيقة / وحدة}}\right) = \text{416 وحدة / يوم}$$

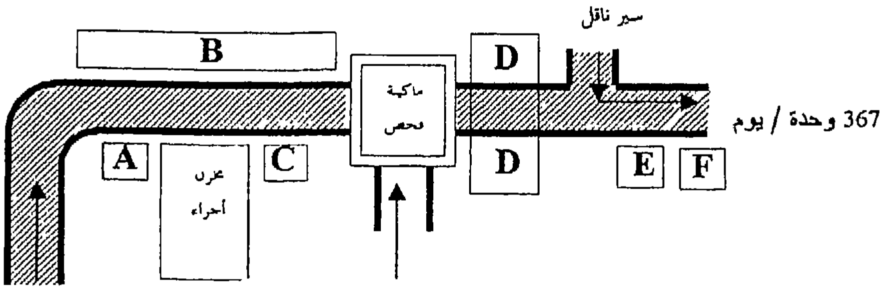
ويمكن تقديم مثال آخر لاستيعاب الفكرة الخاصة باتزان خط التجميع، وزيادة كفاءته. نفترض وجود خط تجميع جهاز إلكترونى موضح فـى الشكـل رقم (09-4)، يتكـون من 10 عـمليـات مـجزأة فى 6 محطات عمل، آخـذاً فى الحسبان التـتابع التكنولوجى بين العـمليـات، وحـجم الإنتـاج المطلوب 367 وحـدة فى اليـوم الكامل أى 8 سـاعـات، ويتـوقف الخط 20 دقيقة مرتين: مرة قبل الظهر، وأخرى بعد الظهر. والمطلوب تجميع العـمليات فى أنسب محطات عمل، وتحديد كفاءة اتزان الخط فتحسب دورة زمن الإنتاج على النحو التالى.

$$\text{دورة زمن الإنتاج} = \left(\frac{\text{وقت الإنتاج المتوفر لكل فترة زمنية}}{\text{عدد الوحدات المطلوب إنتاجها لكل فترة زمنية}}\right)$$

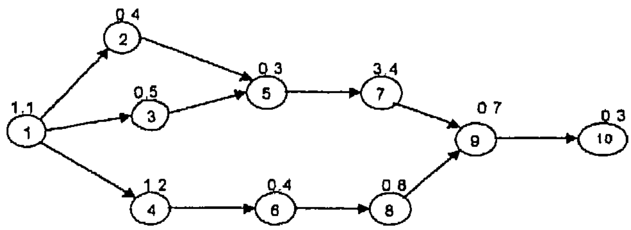
$$= \left(\frac{(\text{480 دقيقة / يوم}) - ((2)\,(20)\text{دقيقة / يوم})}{\text{367 وحدة / يوم}}\right)$$

$$= \frac{440}{367} = \text{1.20 دقيقة / وحدة}$$

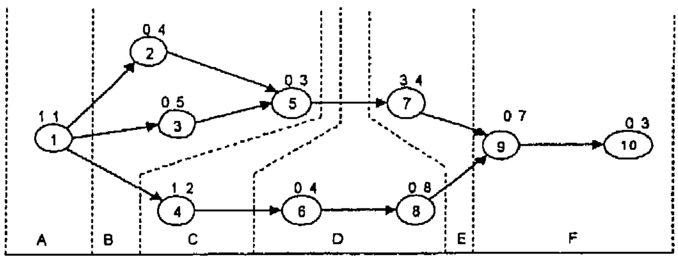
وهذا يعنى أن كل عـامل يعمل حتى 1.2 دقيقة فى أى محطة عمل، فيتم تجميع العـمليات على أساس أقصى كمية عمل فى كل محطة، فنحصل على منظومة كما فى الشكل رقـم (09 - 4)، مع مراعاة أن العـملية (7) تحتاج إلى 3.4 دقيقـة، فيمكن قصر هذه العـملية على محطة واحـدة تحوى 3 عمال بمجموع زمن تشغيل ، وهذا يعنى أن الوقت الضائع فى هذه



خط الإنتاج



شبكة العمليات



محطات العمل

محطات العمل	A	B	C	D	E	F	إجمالى
عمليات التشغيل	①	②، ③ ⑤	④	⑥، ⑧	⑦	⑨، ⑩	-
أزمنة التشغيل	1.1	1.2	1.2	1.2	3.4	1.0	9.1

شكل رقم (09 - 4): اتزان خط تجميع جهاز إلكترونى

المحطة يصبح 0.2 دقيقة. فيحتاج الخط إلى 6 محطات عمل، بكل محطة عامل واحد، ما عدا المحطة قبل الأخيرة فيها 3عمال، فيكون إجمالى العمالة المطلوبة 8 عمال، والجدول المرفق بالشكل رقم (09 - 4) يبين العمليات، والمحطات، وإجمالى أزمنة التشغيل فى كل محطة. أما عن اتزان الخط فيمكن معالجته على النحو التالى:

$$\text{كفاءة اتــــزان الخط} = \left(\frac{\text{إجمالى أزمنة تشغيل جميع العمليات على الخط}}{\text{إجمالى أوقات العمال فى جميع المحطات على الخط}}\right)$$

$$= \frac{0.3 + 0.7 + 0.8 + 3.4 + 0.4 + 0.3 + 1.2 + 0.5 + 0.4 + 1.1}{(1.2)\ (8)}$$

$$= \frac{9.1}{9.6} = \%\ 94.8$$

وبذلك يكون قد أمكن تجميع العمليات العشر فى 6 محطات عمل، بدورة زمنية 1.20 دقيقة لكل وحدة منتجة، وبكفاءة ما يقرب من 95 % لاتزان الخط.

تماريـــن تخطيط المنظومات

آثرت أن أنتقى مجموعة من التمارين العملية والتطبيقية فى مجال نمذجة تخطيط المنظومات، حتى يمكن تفهم إجراءات معالجة مشكلات التخطيط، واستيعاب أفكار تشكيل منظومات التخطيط، وتدارس أصول تمثيل نماذج التخطيط، وهى على النحو التالى:

نموذج تنبؤ بالسيناريوهات:

4-01 استخدم قدراتك ورغباتك وميولك فى بناء سيناريو شخصى على أساس الأهداف التى تصبو إليها، ثم حدِّد الخطة التى تساعدك على الوصول إلى هذه الأهداف، محدِّدا المحاور التى يمكن على أساسها التنبؤ بمستقبلك.

4-02 قام عالمان أمريكيان من أصل عربى ببناء سيناريو يساعد رجال الإعلام والصحافة على الوصول إلى قرار بالنسبة لحالة «اللاحرب واللاسلم» التى استمرت ست سنوات بين مصر وإسرائيل. حدِّد تصوراً كاملاً شاملاً الدول المؤثرة والمتأثرة بهذا الوضع، وحدد المحاور الرئيسية التى تساعد على اتخاذ قرار، أو على الأقل تعطى مؤشراً لما يجب عمله.

نموذج تنبؤ بالمتواليات:

4-03 تقوم إحدى شركات إنتاج المواسير الألمونيوم الملحومة بتوريد جميع إنتاجها إلى شركة متخصصة فى تصنيع الماكينات. والجدول التالى يوضح الكميات التى تشحن كل عام على مدار 11 سنة:

السنة	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
الشحنة (طن)	2	3	6	10	8	7	12	14	14	18	19

1 - تنبأ بكميات المواسير المتوقع توريدها فى العام 16 ، مستخدمًا أسلوب ملاءمة الخط المستقيم ، وأسلوب ملاءمة المنحنى الأسى ، وقارن بين الأسلوبين من حيث النتيجة الرياضية ، موضحًا ذلك بالرسم البيانى .

4-04 استخدم أسلوب ملاءمة الخط المستقيم لتوصيف حركة نقل المواسير الألمونيوم الملحومة فى المعادلة الرياضية $Y = 10.27 + 1.65\ x$ ، مع العلم بأن Y هى كمية المواسير المنقولة بالطن فى السنة ، و x هى السنوات المتتالية ، وعلى حسبان معامل السنة السادسة يساوى صفرًا ، والسنوات التى قبلها سالبة ، والسنوات التى بعدها موجبة لسهولة الحساب . أوجد المعادلة الرياضية إذا تم تحريك الأساس خمس سنوات .

4-05 قامت إحدى الشركات ببيع منتجاتها بقيمة ثابتة لمدة 3 أعوام ، ثم خضعت المبيعات السنوية فى 4 سنوات تالية للعلاقة الرياضية $Y = (1.03)^x$ ، بملايين الجنيهات .

1 - أوجد المعادلة الرياضية خلال الأعوام السبعة ، مستخدمًا أسلوب ملاءمة الخط المستقيم .

2 - أوجد قيمة المبيعات فى السنة الثامنة .

4-06 تقوم إحدى الشركات بتصريف منتجاتها ، بحيث تخضع مبيعاتها السنوية المعادلة الأسية $Y = 422\ (1.025)^x$ ، لعدد من السنوات الماضية . وفى السنوات الخمس التالية ، خضعت المبيعات السنوية للمعادلة الرياضية $Y = 567 - 0.116\ x$. وقد زادت المبيعات بمقدار 3% فى السنة فى العامين التاليين للسنوات الخمس . فإذا فرضنا أن المبيعات فى السنوات التى بعد ذلك ستتبع المعادلة الأخيرة :

1 - أوجد التنبؤ الذى يمكن تطبيقه فى السنة التالية لذلك .

2 - احسب عدد السنوات التى تستمر فيها المعادلة الرياضية الأولى .

4-07 قدّرت المبيعات السنوية فى إحدى الشركات الإنتاجية بعلاقة رياضية على أساس عـــام 1970 + x وهى: Y = 915,000 + 215 x . مـا قـيـمـة المبيـعـات فى فبـراير عـام 1975، مع العلــم بـأن معـادلة المبيعـات السنوية تكون على أساس نهايــة شهــر يونيو من كل عام؟

نموذج تقويم الأموال:

4-08 اقترض طالب LE 400 من البنك بفائدة بسيطة قدرها i = 7%، لفترة 3 أعوام. احسب المبلغ الذى يسترده البنك ويتضمن فى نهاية السنوات الثلاث.

4-09 وقع أحـد مـعـامل تكرير البـتـرول عـقـداً لمدة 10 سنوات لشـراء خـام النفط، ويتضـمن العقـد دفع LE 60,000 عند التوقيع، ومبلغ LE 15,000 كل عام بدءاً من نهاية السنة الخامسة. وقد قرر المعمـل دفع باقى قيمة العقد مقدماً عند نهاية السنة الثالثة، احسب هذه القيمة مع العلم بأن الفائدة i = 7%.

4-10 قدمت إحدى الشركات الإنتاجية عرضًا لأحد المخترعين على النحو التالى: تدفع الشركة نظير الحق المطلق لاختراعه LE 12,000 كل عام طيلة السنوات القادمة، وكذا LE 6,000 كل عام خلال السنوات السبع التالية. احسب المبلغ الذى يمكن أن يقبله، لو فرض أنه باع حق الاختراع اليوم، مع العلم بأن الفائدة i = 10%.

4-11 تمتلك إحـدى الشـركـات مـاكـينة تجليخ يتكلف تشـغليـهـا سنويًا LE 4,000، وتكاليف الصيـانة المتوقـعة LE 2,000 فى السنة التالية وبزيادة سنوية LE 1,000. تنوى الشركة شراء ماكينة حديثة بسعر LE 10,000، والعمر الافتراضى لهذه الماكينة 6 سنوات، بعدها تكون القيمة التخريدية المتوقعة LE 2,000. ويقدر متوسط تكلفة التشغيل والصيانة LE 5,000 سنويًا. قارن بين البديلين على أساس فائدة 10%.

4-12 اشترى أحد رجال الأعمال 100 سهمًا من أسهم بعض الشركات المسجلة فى البورصة بمبلغ 3,500 جنيه، ولم يتسلم أى عائد أو أرباح فى العامين الأوليين، ثم حصل على أرباح LE 2 كل عام على كل سهم فى السنوات الأربع التالية، ثم LE 4 كل عام

على كل سهم فى السنوات الثلاث القادمة، ثم قرر بيع الأسهم بمبلغ LE 7,500 . بعد الاحتفاظ بها لمدة 9 سنوات . أوجدا نسبة الفائدة i % .

نموذج استهلاك الأصول:

4-13 استثمرت إحدى الشركات LE 12,000 فى شراء ماكينة حديثة، وقد توقع تشغيلها 5 سنوات، ثم استُبدل بها أخرى أحدث تكنولوجيًا، وقدِّر ثمنها عند بيعها بعد انتهاء فترة عملها بمبلغ LE 2,000 . استخدم طرق الاستهلاك المختلفة لحساب القيم الاستهلاكية على مدار السنوات الخمس .

4-14 اشترت إحدى الشركات ناقلات برية لاستخدامها فى أعمالها الخاصة . سعر الناقلة LE 4,000 ، والعمر الافتراضى 5 سنوات، والقيمة التخريدية LE 800 بعد انتهاء العمر الافتراضى .

1 - أوجد القيمة المحاسبية المتبقية فى نهاية العام الرابع، مستخدمًا أسلوب (S - L) .

2 - أوجد القيمة الإجمالية التى استهلكت حتى نهاية العام الثالث، مستخدمًا أسلوب (S - L) .

3 - أوجد القيمة الاستهلاكية فى العام الثانى، مستخدمًا أسلوب (D - B) .

4-15 يمتلك شخص سيارة ثمنها الأساسى LE 1,000، والقيمة التخريدية بعد انتهاء العمر الافتراضى وهو 5 سنوات هى LE 200 . استخدم أسلوب (S - L) وأسلوب (S - D) لحساب ما يلى :

1 - أوجد القيمة الاستهلاكية فى العام الثالث .

2 - أوجد القيمة المحاسبية المتبقية فى نهاية العام الرابع .

4-16 اشترى شاب دراجة بخارية بمبلغ LE 400 منذ 4 أعوام، والقيمة التخريدية LE 50 بعد 7 أعوام من العمر الافتراضى .

1 - حدد القيمة الاستهلاكية مستخدمًا أسلوب (S - L) وأسلوب (S - D) .

2 - حدد القيمة المحاسبية المتبقية مستخدمًا أسلوب (S - L) وأسلوب (S - D) .

نموذج توزيع الموارد:

4-17 تضم ورشة ميكانيكية 3 مخارط L_1, L_2, L_3 ، وماكينتي تجليخ G_1, G_2 . ولما كان هناك وقت تشغيل إضافى على هذه الماكينات خلال هذا الأسبوع فقد أمكن جدولة 4 منتجات P_1 وP_2 وP_3 وP_4 على هذه الماكينات خلال هذا الوقت الإضافى ، وذلك على النحو التالى :

اسم الماكينة	الساعات المتوافـرة	أوقات التشغيل (ساعة / وحدة)			
		P_1	P_2	P_3	P_4
L_1	32	0.7	-	-	0.6
L_2	40	0.4	0.2	0.9	0.4
L_3	28	0.3	0.1	-	-
G_1	36	-	0.6	0.4	0.6
G_2	40	-	0.4	-	0.5
الربحية لكل منتج بالجنيه		2.0	3.5	3.0	4.0

1 - شكِّل النموذج الرياضى فى شكل نموذج برنامج خطى .

2 - ضع بيانات هذا النموذج فى جدول سمبلكس المبدئى .

3 - أوجد الحل الأمثل لهذا النموذج ، مستخدمًا الكمبيوتر .

4-18 يوضح الجدول التالى جدول سمبلكس التتابعى لنموذج برمجة خطية . أكمل البيانات الناقصة فى الجدول ، وأوجد الحل الأمثل لهذا النموذج ، مع العلم بأن المطلوب هو تعظيم دالة الهدف .

c_j		1	4	4	0	0	
$c_{(k)}$	$P_{(k)}$	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_o
4	P_2	0	1	2	0	-1	4
0	P_4	0	0	3	1	-1	2
1	P_1	1	0	-4	0	2	6
$c_j - z_j$							

4-19 ترغب إحدى الشركات فى شراء 1,500 وحدة على الأكثر من منتج معين. ويوجد طرازان A وB من هذا المنتج. يتكلف المنتج A مبلغ LE 10، ويشغل متراً مكعباً واحداً فى المخازن، ويربح جنيهين عند بيعه. أما المنتج B فيتكلف مبلغ LE 12، ويشغل 2.5 متر مكعب فى المخازن، ويربح LE 3 عند بيعه. فإذا كانت قيود الميزانية LE 12,200، وحجم منطقة التخزين المتوافرة 2,000 متر مكعب:

1 - شكّل النموذج الرياضى فى شكل نموذج برنامج خطى.

2 - أوجد الحل الأمثل بالأسلوب البيانى، موضحاً دالة الهدف.

3 - استخدم طريقة سمبلكس الجبرية لإيجاد الحل الأمثل.

4-20 أوجد الحل الأمثل لنموذج البرنامج الخطى التالى، وذلك بالأسلوب البيانى، والأسلوب الرياضى:

عظم دالة الهدف

$$Z = 6x_1 - 2x_2$$

وفقا للقيود

$$x_1 - x_2 \leq 1$$

$$-3x_1 + x_2 \geq -6$$

وقيود اللاسلبية

$$x_1, x_2 \geq 0$$

نموذج نقل الموارد:

4-21 ترغب إحدى الشركات فى شراء 7,500 حقيبة، ثلثها الأول من طراز S_1، وثلثها الثانى من طراز S_2، وثلثها الأخير من طراز S_3. وتوجد 4 شركات M_1 وM_2 وM_3 وM_4 على استعداد لتوريد هذه الحقائب بكميات 1,000 و 3,000 و2,100 و1,900 حقيبة على التوالى. والجدول التالى يوضح تكلفة الحقيبة من كل شركة موردة:

شركات التوريد

طرازات الحقائب	M_1	M_2	M_3	M_4
S_1	10	4	9	5
S_2	6	7	8	7
S_3	3	8	6	9

1 - أوجد إجمالى تكلفة النقل عند تنفيذ أوامر التوريد من الشركات فى مختلف الطرازات (بطريقة VOGEL).

2 - نفترض أنه تم تقديم طراز رابع S_4، أوجد الشركة التى ستقوم بتوريده، وعدد الحقائب من طراز S_4 الذى يمكن أن تنتجه هذه الشركة.

4-22 يواجه قسم النقل فى إحدى الشركات مشكلة نقل منتج معين من 3 مصانع إلى 4 مخازن. ويعلن كل شهر عن السعات الإنتاجية للمصانع، والاحتياجات التخزينية للمخازن، مع العلم بأن تكلفة نقل الوحدة من كل مصنع إلى كل مخزن معروفة. وذلك موضح فى الجدول التالى:

المصنع	المخـــــازن 4	3	2	1	الإمـدادات
	1	2	3	4	
1	25	17	25	14	300
2	15	10	18	24	500
3	16	20	8	13	600
الاحتياجات	300	300	500	500	

أوجد الحل الأمثل والتكلفة الإجمالية .

نموذج جدولة المشغولات:

4-23 يصل أحد المخابز الآلية 5 طلبات A وB وC وD وE. يوميًا. ولتجهيز هذه الطلبات يجب أن تمر فى عمليتين : عملية الخبيز، ثم عملية التزويق . ويوضح الجدول التالى أوقات التشغيل بالساعة للعمليتين :

الطلبـــــات

العمليات	A	B	C	D	E
الخبيز	5	4	8	7	6
التزويق	3	9	2	4	10

جَدْوِل هذه الطلبات ، بحيث يكون إجمالى وقت التشغيل أقل ما يمكن .

4-24 تعمل إحدى الشركات فى بيع أجهزة معينة إلى 8 عملاء 1 و2 و3 و4 و5 و6 و7 و8. وتشمل عملية بيع الجهاز تجهيز الموقع، ثم تركيب الجهاز.. وتقوم مجموعة من العمال A لتجهيز الموقع، ومجموعة أخرى B لتركيب الجهاز . والجدول التالى يوضح أوقات التشغيل بالساعة للعمليتين :

العمــــــــــــلاء

فرق العمل	1	2	3	4	5	6	7	8
A	8	4	16	7	12	13	6	3
B	12	2	12	8	10	14	8	5

1 - أوجد الجدولة المثلى لهذه العمليات، بحيث يكون إجمالى وقــت التشغيــل أقل ما يمكن.

2 - افرض أن مجموعة B بها 4 عمال، وأجر الساعة جنيه واحد للعامل، وأن الجدولة هى {8 7 6 5 4 3 2 1} ، أوجد الوفر نظير اتباع هذه الجدولة.

4-25 ترغب إحدى الشركات فى تشغيل 4 مشغولات على ماكينتين معينتين، بحيث تمر المشغولة على الماكينة A ثم الماكينة B. والجدول التالى يوضح أوقات التشغيل بالساعة للعمليتين:

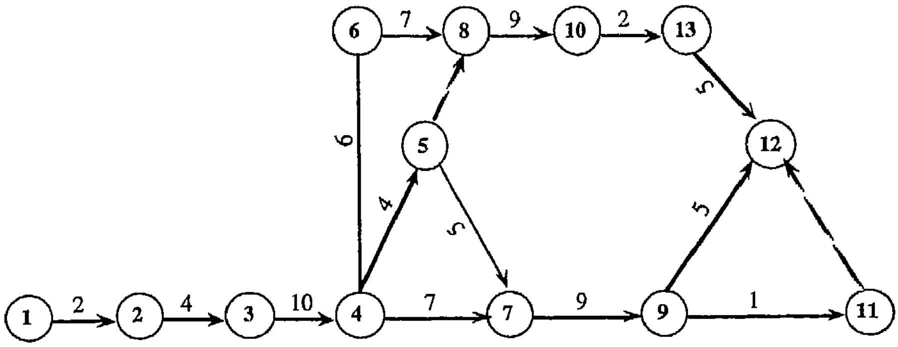
الأعمــــــــال

الماكينة	1	2	3	4
A	3	7	6	6
B	2	5	10	4

جدوِل هذه المشغولات على الماكينتين بأقل إجمالى وقت تشغيل.

نموذج جدولة المشروعات:

4-26 تقوم إحدى شركات المقاولات بتنفيذ مشروع إقامة مبنى سكنى، فقامت إدارة المشروع بتحديد الأحداث والأنشطة ومثلتها فى شبكة على النحو التالى:



مع العلم أن مدة تنفيذ كل نشاط موضح على السهم الذى يمثله. والجدول التالى يوضح وصف الأنشطة المسبوقة، وأزمنة الأنشطة المحددة على أساس أسلوب CPM، وكذا الأزمنة التقديرية على أساس أسلوب PERT.

وصف الأنشطة	النشاط	النشاط المسبوق	الزمن المحدد (CPM)	الأزمنة التقديرية (PERT)		
				t_o	t_m	t_p
حفر الأساسات	1 → 2	--	2	1	2.0	3
إقامة الأساسات	2 → 3	1 → 2	4	3	4.0	5
إقامة الأعمدة والحوائط	3 → 4	2 → 3	10	6	9.0	12
توصيل المياه الخارجية	5 → 6	3 → 4	4	3	5.0	7
إقامة السقف	4 → 6	3 → 4	6	6	6.0	12
توصيلات الكهرباء	4 → 7	3 → 4	7	6	8.0	11
توصيل المياه الداخلية	5 → 7	4 → 5	5	3	5.0	7
بياض الحوائط الخارجية	6 → 8	4 → 6	7	3	6.0	9
بياض الحوائط الداخلية	7 → 9	4 → 7و 5 →7	9	6	13.0	14
دهان المبنى خارجيًا	8 → 10	6 → 8	9	5	6.5	11
تبليط الأرضيات	9 → 11	7 → 9	1	1	1.0	1
دهان المبنى داخليًا	9 → 12	7 → 9	5	4	7.0	10
تشطيب المبنى خارجيًا	10 → 13	8 → 10	2	1	2.0	3
تشطيب المبنى داخليًا	12 → 13	9 → 12	5	3	6.5	7

احسب الوقت المبكر لبداية الأنشطة (ES_{ij})، والوقت المؤخر لبداية الأنشطة (LS_{ij})، والوقت الراكد (TS_{ij}) لكل الأنشطة فى حالتى CPM وPERT، مع تحديد المسار الحرج بكل من الأسلوبين.

4-27 يقوم أحد المكاتب الاستشارية الهندسية بدراسة متكاملة لمشروع معين، حتى يمكن طرح مناقصة عامة، تمهيداً لاختيار أنسب العروض لتنفيذ المشروع. والجدول التالى يوضح مختلف الأنشطة لتنفيذ الدراسة، والأنشطة، والوقت اللازم لإتمام كل نشاط، حيث وضع خبراء المكتب التقدير المتفائل، والتقدير الراجح، والتقدير المتشائم لأزمنة الأنشطة بالأسبوع، وذلك على حسب خبرتهم.

وصف النشاط	النشاط	النشاط المتبوع	تقدير أزمنة النشاط بالأسبوع		
			to	tm	tp
دراسة الجدوى	1 → 2	--	4	6	10
استلام الموقع	2 → 3	1 → 2	2	8	24
إعداد الخطط	2 → 4	1 → 2	10	12	16
وضع سياسة التسويق	2 → 6	1 → 2	4	5	10
اختبار التربة	3 → 4	4 → 5 و 4 → 6	1	2	3
اعتماد قانونى	4 → 5	3 → 4 و 2 → 4	6	8	30
تقديم طلب القرض	4 → 6	3 → 4 و 2 → 4	2	3	4
اعتماد المستندات	5 → 6	4 → 5	0	0	0
حصول على عروض	5 → 7	4 → 5	6	6	6
حصول على قروض	6 → 7	4 → 6 و 2 → 6	2	6	12
تقديم العقد	7 → 8	5 → 7 و 6 → 7	2	2	3

1 - ارسم الشبكة المناسبة التى تضم جميع أنشطة المشروع، واحسب الوقت المتوقع لإتمام كل نشاط، ثم أوجد المسار الحرج لإتمام المشروع.

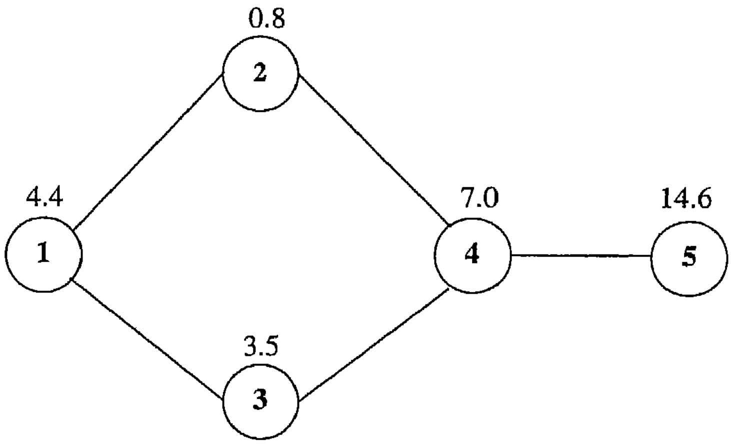
4- 28 تقوم إحدى شركات المقاولات بتنفيذ مشروع معين. وقد قامت إدارة المشروع بتحديد أرقام الأنشطة، وتقديرات الأزمنة، كما هو موضح فى الجدول التالى:

رقم الحدث (بداية النشاط)	رقم الحدث (نهاية النشاط)	تقدير أزمنة النشاط		
		a	m	b
1	2	5	6	13
1	3	2	7	12
2	4	1.5	2	2.5
2	5	1	3	5
3	5	4	5	6
3	6	1	1	1
4	7	2	3	10
5	7	4	5	6
6	7	3	5	7

1- حدِّد الأنشطة تبعًا للأحداث الموضحة بالجدول، و ارسم الشبكة الخاصة بهذه الأنشطة، واحسب الوقت المتوقع لإتمام كل نشاط، ثم أوجد المسار الحرج، وأوجد الوقت اللازم لإتمام المشروع على المسار الحرج، واحسب ES وLS والوقت الراكد للأنشطة الحرجة فى المشروع.

نموذج جدولة الخطوط:

4- 29 تقوم شركة لتصنيع الأثاث بأداء 5 عمليات على خط تجميع مجهز لذلك. والشكل التالى يوضح العمليات، والتتابع التكنولوجى، ووقت التجميع.



يتم جدولة العمليات لإنتاج 6 وحدات فى الساعة، ويساهم كل عامل بعمل إنتاجى لمدة 48 دقيقة فى الساعة (أى أن الوقت غير المنتج 12 دقيقة/ ساعة).

1 - أوجد الدورة الزمنية، وأقل عدد للعمال نظريًا.

2 - حدِّد الكفاءة الناتجة عن اتزان الخط إذا تم تجميع العمليات فى مجموعات أى محطات تشغيل، بحيث يعمل الخط بأعظم كفاءة.

4-30 قام أحد المهندسين بتحليل خط تجميع، وقد نتج عن ذلك تجميع العمليات كما هو موضح فى الجدول التالى:

وقت التجميع (دقيقة)	أرقام العمليات	محطات التشغيل
1.2	② و ①	A
1.4	⑥ و ⑤ و ③	B
0.9	⑦ و ④	C
1.3	⑪ و ⑩ و ⑧	D
1.5	⑨	E

أوجد الدورة الزمنية، وكذا كفاءة إتزان الخط.

الباب الخامس
نمذجة تنظيم المنظومات

الفصل الأول : نماذج تنظيم المواد

الفصل الثاني: نماذج تنظيم المعدات

الفصل الثالث: نماذج تنظيم العمالة

الباب الخامس
نمذجة تنظيم المنظومات

وظيفة التنظيم تُعَدّ من أهم وظائف الإدارة العلمية، وهى تشمل عدّة مهام أهمها: توافر المواد الأولية للإنتاج، وتوافر المنتجات النهائية للتوزيع، وتوافر المعدات بكامل الطاقات والسّعات، وتوافر القوى العاملة بالأعداد والمستويات والمهارات. وتُعَدّ هذه المهام من الوظائف الفرعية التى تقوم بها الإدارة المتوسطة. والمواد والمعدات والعمالة ما هى إلا مقومات أو مدخلات لأى منظومة إنتاجية، وتشكل هذه المقومات العمود الفقرى لعملية تحويل المدخلات إلى نواتج من سلع منتجة أو خدمات مقدمة ذات قيم مضافة.

وتنظيم المواد يتطلب تحديد مستويات معينة لمخزون، حسب نوعيات المخزون من مواد خام أولية، ومنتجات نصف مصنعة، ومنتجات تامة الصنع. وبالمثل يتطلب حساب مستويات تخزين محددة فى مختلف المخازن التابعة للمؤسسة الإنتاجية، والموزعين المعتمدين، والبائعين للمستهلكين، وذلك على حسب دراسات السوق.

وتنظيم المعدات يتطلب التعرف على تخطيط المعدات فى مراكز التشغيل، ويراعى فى ذلك سعات الماكينات، وتدفق المشغولات. كما يراعى مستوى كفاءة المعدات بسبب الأعطال والتقادم والتآكل، وكذا مدى التوازن بين متطلبات الماكينة ومهارة العامل.

وتنظيم العمالة يتطلب التعرف على قدرات وإمكانات القوى البشرية، لأنها من أقيم أصول المؤسسة الإنتاجية، فهى ذات قيمة طبيعية لا تجاريها المعدات. والقوى العاملة تُصنَّف حسب نوعية حرفهم، ومستوى مهارتهم، وطول خبرتهم. ويجب تخطيط احتياجات الإنتاج من العمالة، بحيث يحدث توازن بينها وبين الماكينات.

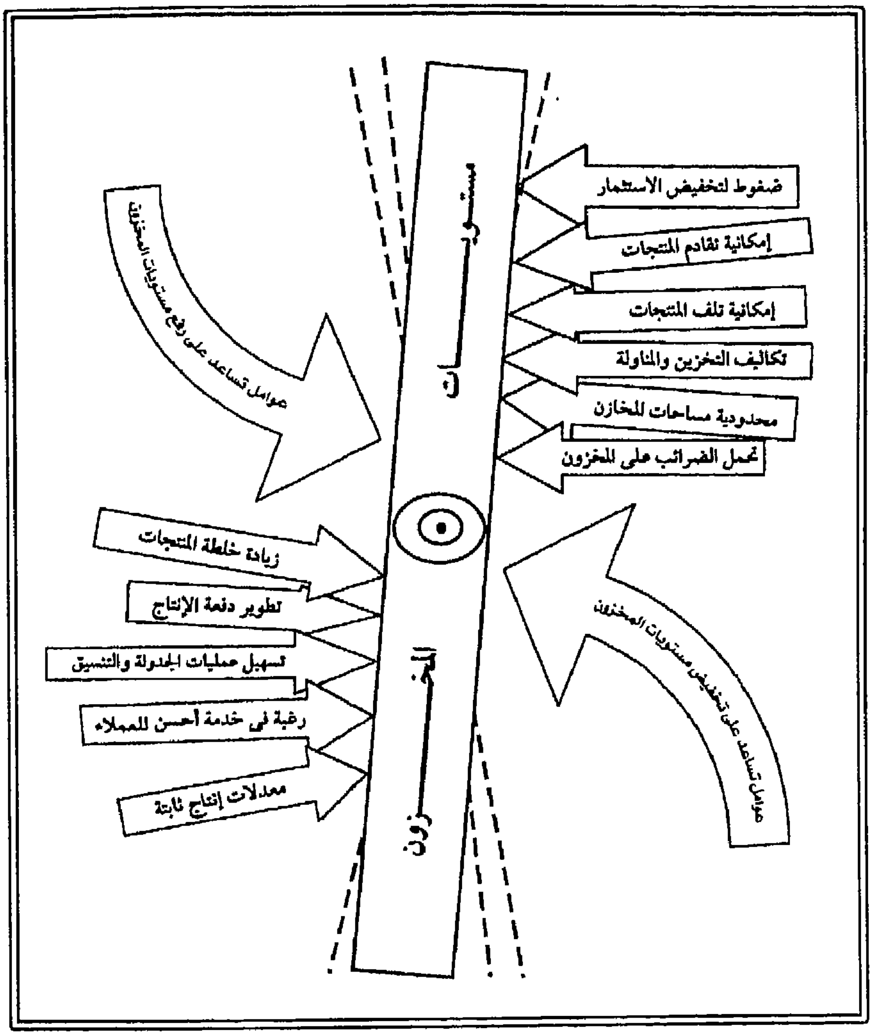
ويختص هذا الباب بنماذج تنظيم المواد، وتنظيم المعدات، وتنظيم العمالة، بهدف صنع القرارات الرشيدة فى المنظومات الإنتاجية للوصول إلى الأهداف الرئيسية.

الفصل الأول: نماذج تنظيم المواد

المنظومات الإنتاجية قلّما تخلو من حاجتها إلى اتخاذ قرارات خاصة بشأن تحديد المخزون من الخامات والسلع. وتتنوع مشكلات التخزين حسب نوعيات المخزون من مواد خام أولية، ومنتجات نصف مصنعة، ومنتجات تامة الصنع، وكذا مستويات التخزين المطلوب توافرها فى مخازن المصنع، ومخازن الموزع، ومخازن البائع. وعملية تنظيم المخزون من الأمور الحساسة التى تؤثر على عوائد المنظومات الإنتاجية. وقد أثبتت الخبرة أن المخزون عامة فى أى منظومة إنتاجية ينقسم إلى ثلاث مجموعات: مجموعة تضم حوالى 15% من أصناف المخزون، بينما قيمتها تمثل 80% من القيمة الكلية للمخزون؛ ومجموعة تضم حوالى 20% من أصناف المخزون، بينما قيمتها تمثل 15% من القيمة الكلية للمخزون؛ ومجموعة تضم حوالى 65% من أصناف المخزون، بينما قيمتها لا تتعدى 5% من القيمة الكلية للمخزون. لذلك وجب الاهتمام بالمجموعة الأولى ثم الثانية ثم الثالثة.

ومن الجدير بالذكر، أن زيادة مستوى المخزون قد يؤدى إلى خسارة مالية ومادية فادحة نتيجة تعطيل رأس المال المستغل فى تكوين هذه الزيادة فى المخزون، وزيادة نفقات المناولة والتخزين بالمخازن عن المستوى المطلوب، وتكلفة المخزون الذى قد يتلف لسوء التخزين، وغيرها. كما أن نقص مستوى المخزون قد يؤدى إلى خسارة مالية ومعنوية كبيرة نتيجة الإهدار فى طاقات القوى العاملة، وهَدْر فى الموارد بسبب فقد العملاء لعدم توافر منتجات متنوعة تناسب رغباتهم وأذواقهم، وغيرها. لذلك يتطلب وضع سياسات تخزينية رشيدة لتحديد الحجم الاقتصادى للطلب (Economic Lot Size)، وهو الحجم الذى يتيح أقل تكلفة ممكنة. فعادة ما يوجد اتجاهان متضادان هما: هل يطلب أكبر كمية ممكنة حتى يستفاد بالوفر فى تكاليف الطلب وخصم فى السعر على الكميات؟ أم يطلب أقل كمية ممكنة حتى يمكن توفير تكاليف التخزين، وتجنب ركود الأصناف، وتعطل رأس المال؟ والحل الأمثل بالطبع يقع فى نقطة بين هذين الاتجاهين، وهى النقطة التى تكون فيها التكلفة المتغيرة أقل ما يمكن.

وتعتمد السياسات التخزينية المثلى على عدة عوامل متضاربة وضاغطة على زيادة أو نقصان في مستويات المخزون، والشكل رقم (01 - 5) يوضح العوامل التى تضغط لرفع مستوى المخزون، والعوامل التى تضغط لخفض مستوى المخزون. لذلك وجب وضع سياسات تخزينية رشيدة لتحديد الحجم الاقتصادى للطلب، وتحديد نقطة إعادة الطلب لتغذية المخزون حتى يصل إلى المستوى المحسوب مسبقًا.



شكل رقم (01 - 5): عوامل متضاربة ضاغطة على مستوى المخزون

وينبغى لتنظيم المخزون، تشخيص المشكلة بعناصرها وعواملها، ثم صياغتها فى منظومة بمدخلاتها وعمليات تحويلها ومخرجاتها، ثم تمثيلها فى نموذج رياضى لتحديد الحجم الأمثل للطلب سواء كان للشراء أو للتصنيع داخليا، وكذا تحديد نقطة إعادة الطلب، بشرط أن تكون التكلفة الكلية أقل ما يمكن. ويمكن تعريف عوامل التكلفة على النحو التالى:

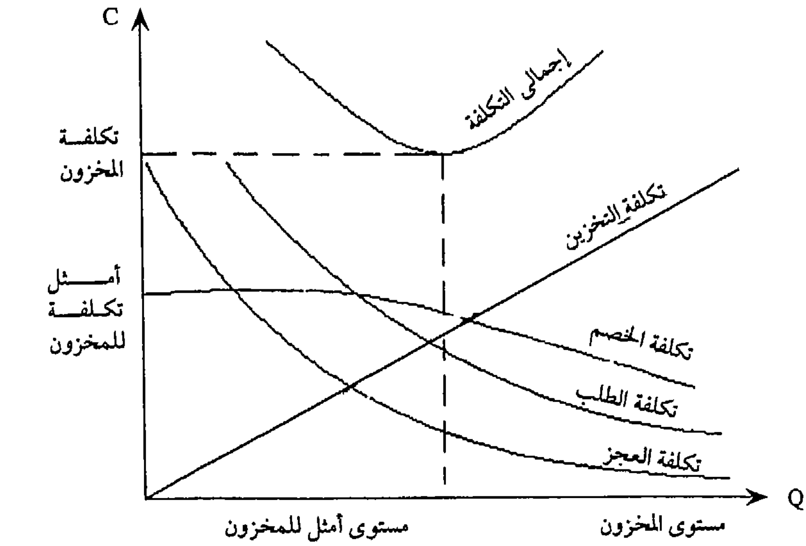
تكلفة السلعة (Purchasing Cost). وهى تكلفة وحدة واحدة من السلعة المطلوب تخزينها. ويتأثر هذا السعر بالكمية، أى أنه كلما تم شراء كمية كبيرة من هذه السلعة، فإنه يمكن الحصول على خصم(Discount) يتغير باختلاف الكمية.

تكلفة الطلب(Ordering Cost). وهى تكلفة إعداد الطلبية المشتراة مباشرة، وتشمل إعداد المستندات اللازمة كأمر الشراء واعتماده وإعداد وسيلة لنقل الواردات من مصدر الشراء إلى مخازن الشركة. أما عند تصنيع الطلبية داخل الشركة، فتشمل تكلفة التجهيز للمعدات (Set-Up Cost)، وتكلفة إعداد معدات التشغيل من تجهيز المحددات (Jigs) والمثبتات (Fixtures) والإسطمبات(Dies)، ويلاحظ أن تكلفة الطلب تتناسب عكسيّا مع حجم الطلب.

تكلفة التخزين (Holding Cost). وهى تكلفة تخزين السلعة، وتشمل تكلفة رأس المال المدفوع لشراء السلعة، وتكلفة التأمين على المخزون ضد الحريق أو السرقة، وتكلفة الضرائب على المخزون، وتكلفة التخزين التى تشمل مناولة المواد وترتيب السلع وتنظيمها وإعداد السجلات وأذون الإضافة إلى المخزون والسحب منه، وتكلفة مبنى المخازن وصيانته وحراسته، وتكلفة التلف والتقادم للسلع عندما يطول فترة تخزينها. وتترجم هذه التكلفة الإجمالية إلى العائد لكل وحدة من المخزون فى فترة زمنية محددة، أو كنسبة مئوية من قيمة المخزون. وعادة ما تحسب على أساس متوسط المخزون الدائم. ويلاحظ أن تكلفة التخزين تتناسب طرديّا مع مستوى المخزون.

تكلفة العجز(Shortage Cost). وهى تكلفة فقد العملاء، وقلة المبيعات، نتيجة عدم توافر السلع التى تتناسب مع طلبات وأذواق مختلف العملاء، ويلاحظ أن تكلفة العجز تتناسب عكسيّا مع مستوى المخزون.

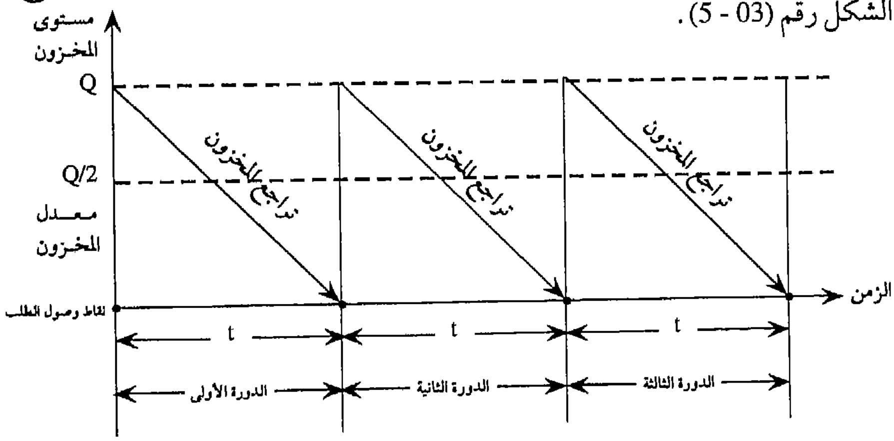
أما التكلفة الإجمالية للمخزون (Total Cost) فهى إجمالى تكلفة السلعة، وتكلفة الطلب (سواء كان الحصول عليه بالشراء خارجيّا أو بالتصنيع داخليّا)، وتكلفة التخزين، وتكلفة العجز. والشكل رقم (02 - 5) يوضح دوال تكلفة المخزون المختلفة.



شكل رقم (02 - 5): دوال تكلفة ومستويات المخزون

نموذج حجم الشراء:

تعمل شركة وطنية فى توزيع السلع الجاهزة، ونظراً لحاجاتها إلى مخزون من كل سلعة من السلع لضمان وجودها عند طلبها من قبل العملاء، فقد وضعت منظومة لتنظيم حركة المخزون من هذه السلع، حتى يمكن ضمان عدم نضوب المخزون، وبشرط أن تكون تكلفة المخزون أقل ما يمكن. ويمكن تمثيل هذه المنظومة فى نموذج رياضى يحدد الحجم الاقتصادى لطلب الشراء أى الحجم الأمثل للطلب، ويحدد أيضًا نقطة إعادة الطلب، وهو موضح فى الشكل رقم (03 - 5).



شكل رقم (03 - 5):دورات التخزين وفقا لنموذج طلب الشراء

والنموذج يعمل فى ظل عدد من الفروض أهمها يمكن ذكره على النحو التالى :

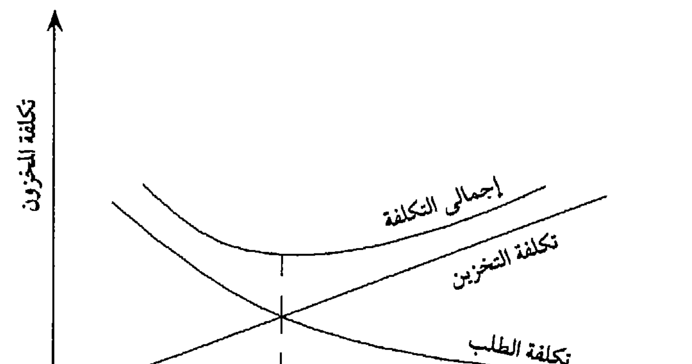
* معدل الطلب على المخزون ثابت ضمن فترة زمنية معينة ، أى دورات متساوية مثل دورة أسبوعية ، أو شهرية ، أو ربع سنوية ، أو نصف سنوية ، أو سنوية .

* وصول الطلبية إلى المخازن فور طلبها مباشرة عند نضوب المخزون . وهذا يعنى أنه عندما ينضب المخزون كلية ، يُطلب الطلبية التى تصل فى نفس اليوم .

* تطبيق النموذج لكل سلعة على حدة ، وبالتالى فإن الطلبيات لسلع أخرى لا تتأثر بعضها ببعض . فمخزون كل سلعة تعامل مستقلة عن السلع الأخرى .

* معدل تكلفة الطلب ثابت لا يتغير بتغير حجم الطلبية ، كما أن تكلفة التخزين للوحدة ثابت لا يتغير بتغير حجم المخزون .

والمطلوب هو إيجاد أمثل مستوى للمخزون ، بحيث تكون التكلفة الإجمالية التى هى عبارة عن تكلفة التخزين H، وتكلفة الطلب O أقل ما يمكن، كما هو موضح فى الشكل رقم (04 - 5) . ومن المعروف رياضيا أن هذا الإجمالى يكون أقل ما يمكن عندما يكون $H = O$.



شكل رقم (04 - 5): مستوى المخزون الأمثل فى نموذج طلب الشراء

وبمعرفة كل من معدل الطلب D وتكلفة الطلبية الواحدة K، فإنه يمكن إيجاد العلاقة التى تعبِّر عن تكلفة التخزين الكلية وهى على النحو التالى :

تكلفة التخزين + تكلفة الطلب = تكلفة التخزين الكلية

$$\begin{pmatrix}\text{تكلفة}\\\text{التخزين}\\\text{للوحدة}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\text{معدل}\\\text{المخزون}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{تكلفة}\\\text{الطلبية}\\\text{الواحدة}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\dfrac{\text{معدل الطلب}}{\text{حجم الطلبية}}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{تكلفة}\\\text{التخزين}\\\text{الكلية}\end{pmatrix}$$

$$TCU(Q) = \left(\frac{D}{Q}\right)K + \frac{Q}{2}H$$

وكما ذكرنا سالفًا أن تكلفة التخزين الكلية تكون أقل ما يمكن عندما يكون تكلفة الطلب مساوية لتكلفة التخزين، أى أن

$$\left(\frac{D}{Q}\right)K = \left(\frac{Q}{2}\right)H$$

فيصبح أمثل مستوى مخزون هو على النحو التالى :

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DK}{H}}$$

ويمكن شرح الفكرة بمثال عددى بسيط. نفترض أن شركة تقوم بتوزيع صناديق عدّة لتلبية احتياجات الورش، والمطلوب تحديد الحجم الاقتصادى لطلب الشراء، وعدد مرات الطلب فى السنة، وطول الدورة التخزينية. وقد أعطيت هذه البيانات من واقع السجلات :

$H = \text{LE } 4.8$ / صندوق ، $K = \text{LE } 20$ / طلب ، $D = 1{,}200$ صندوق / سنة.

فيمكن حساب الحجم الاقتصادى للطلب على النحو التالى :

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DK}{H}} = \sqrt{\frac{2\,(1{,}200)\,(20)}{4.8}} = 100$$

وتحسب أقل تكلفة إجمالية للمخزون فى السنة على النحو التالى :

$$TUC\ (Q^*) = \left(\frac{D}{Q^*}\right)K + \left(\frac{Q^*}{2}\right)H = \left(\frac{1{,}200}{100}\right)(20) + \left(\frac{100}{2}\right)(4.8) = 480$$

كما تحسب عدد مرات الطلب N^* فى السنة على النحو التالى :

$$N^* = \frac{D}{Q^*} = \frac{1,200}{100} = 12$$

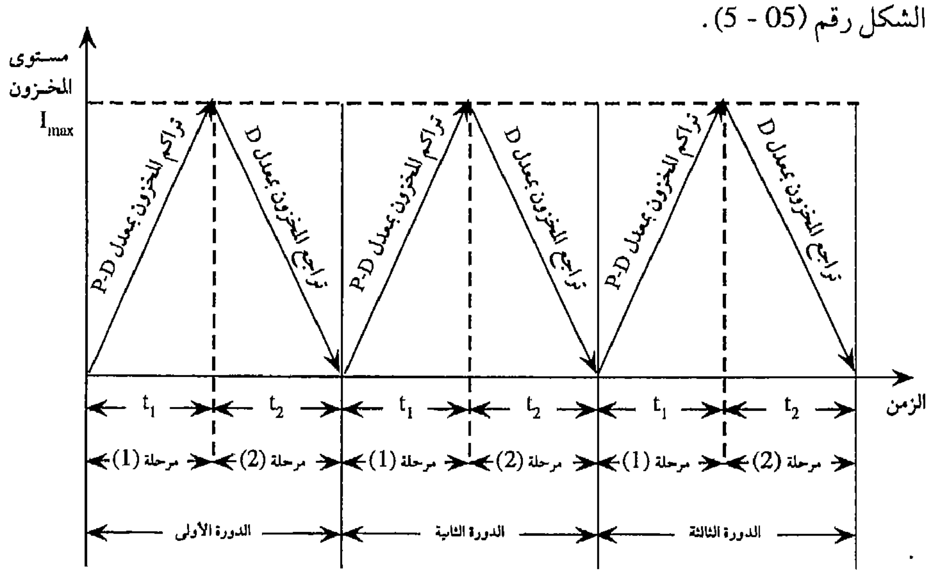
أى 12 طلبية فى السنة . أما طول كل دورة تخزينية t^* فتحسب على النحو التالى :

$$t^* = \frac{Q^*}{D} = \frac{100}{1,200} = \frac{1}{12}$$

ويعنى ذلك أن الدورة التخزينية مدتها شهر واحد .

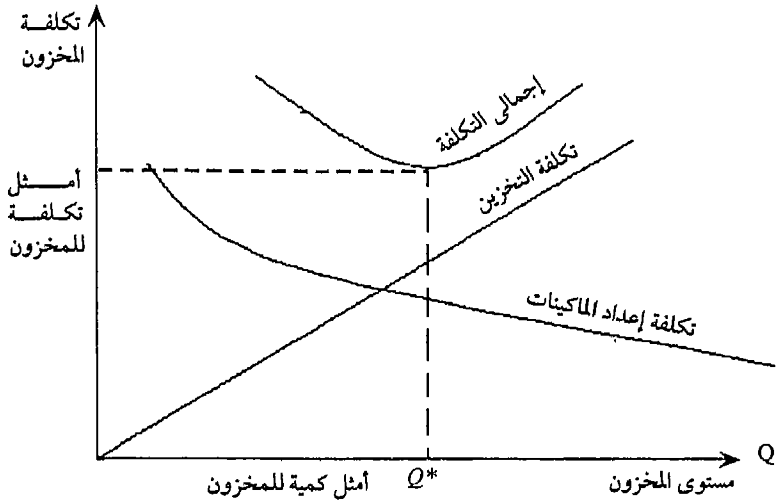
نموذج حجم التصنيع:

تعمل شركة وطنية فى تصنيع أقفال بأحجام مختلفة وتوزيعها ، ونظرًا لحاجتها إلى مخزون من كل مقاس ، فقد وضعت منظومة لتنظيم مخزون من هذه السلع التى سيتم تصنيعها داخليًا وتوريدها مباشرة للمخازن فور التفتيش عليها . لذلك فمن الضرورى عمل طلبية قبل نفاد أو نضوب المخزون بوقت كاف ، وبحيث يكون تكلفة المخزون أقل ما يمكن . ويمكن تمثيل هذه المنظومة فى نموذج رياضى يحدد الحجم الاقتصادى لطلب التصنيع أى الحجم الأمثل للطلب ، ويحدد أيضًا نقطة إعادة الطلب ، وهو موضح فى الشكل رقم (05 - 5) .



شكل رقم (05 - 5): دورات التخزين وفقا لنموذج طلب التصنيع

والمطلوب هو إيجاد أمثل مستوى للمخزون، بحيث تكون تكلفة التخزين H، وتكلفة إعداد الماكينات S، وبالتالى التكلفة الإجمالية TCU أقل ما يمكن، كما هو موضح فى الشكل رقم (06 - 5).



شكل رقم (06 - 5): مستوى المخزون الأمثل فى نموذج طلب التصنيع

ويراعى فى هذا النموذج أن الدورة التخزينية عبارة عن مرحلتين هما على النحو التالى:

* **مرحلة رقم (1)** • وهى مرحلة التصنيع والاستهلاك معًا،
* **مرحلة رقم (2)** • وهى مرحلة توقف التصنيع مع الاستمرار فى الاستهلاك.

فإذا كان أعلى معدل ممكن للتصنيع هو P، والحجم الاقتصادى للتصنيع هو L، فيكون طول دورة الإنتاج t_1 هو على النحو التالى:

$$t_1 = L / P$$

ومادامت عمليتا التصنيع والاستهلاك تستمران معًا خلال المرحلة رقم (1)، فمن الواضح أن أعلى مستوى للمخزون I_{max} يقع عند نهاية هذه المرحلة. فإذا فرضنا أن معدل الاستهلاك أى معدل الطلب على المخزون هو D، فإن المخزون يتراكم خلال هذه المرحلة بمعدل $P - D$، وبالتالى فإن أعلى مستوى للمخزون يكون على النحو التالى:

$$I_{max} = (P - D)\, t_1 = (P - D)\ L / P$$

وذلك بافتراض أن P و D ثابتتين، كما فى نموذج حجم الشراء السابق ذكره.

أما المرحلة رقم (2)، وهى مرحلة توقف الإنتاج مع استمرار الاستهلاك عما وصل إليه المخزون فى نهاية المرحلة رقم (1)، أى أن يكون استهلاك الكمية I_{max} بمعدل D، فإذا كان طول هذه المرحلة t_2 فإنه يمكن حسابها على النحو التالى :

$$t_2 = I_{max}/D$$

$$= \frac{(P - D)\,L}{DP}$$

ولما كان المخزون فى هذه المرحلة يتراجع من أعلى مستوى له I_{max} حتى يصل إلى المستوى صفر فى نهاية هذه المرحلة، يصبح طول الدورة التخزينية على النحو التالى :

$$t = t_1 + t_2$$

وكما فى نموذج حجم الشراء، يحسب معدل المخزون I_a على النحو التالى :

$$I_a = \frac{I_{max}}{2} = \left(\frac{(P - D)\,L}{2P}\right)$$

وكذلك يحسب عدد الدورات التخزينية فى وحدة الزمن، وهى سنة مثلاً، على النحو التالى :

$$N = D / L$$

حيث إن L تقابل Q فى نموذج حجم الشراء السابق شرحه. ويمكن احتساب التكاليف الكلية للمخزون $TC\,(L)$ فى وحدة الزمن كما يلى :

(معدل الطلب على المخزون) (تكاليف التجهيز فى دورة تخزينية) ÷ حجم التصنيع الاقتصادى + (حجم التصنيع الاقتصادى) ((أعلى معدل ممكن للتصنيع) - (معدل الطلب على المخزوون)) (تكلفة تخزين الوحدة) ÷ (معدل الطلب على المخزون) (2)

أى أن

$$TC\,(L) = \frac{H\,(P - D)\,L}{2P} + \frac{UD}{L}$$

ولما كان مجموع مقدارين يصير إلى نهايته الصغـرى عندمـا يتسـاوى هذان المقداران ، فإن $TC(L)$ تبلغ نهايتها الصغرى عندما يكون :

$$\frac{H(P-D)L}{2P} = \frac{UD}{L}$$

فتصبح L^* على النحو التالى :

$$L^* = \sqrt{\frac{2\ PUD}{H(P-D)}}$$

أى أن على إدارة الإنتاج أن تنتج الكمية L^* خلال زمن طوله t_1، ثم تتوقف عن التصنيع زمن طولـه t_2 ، لتحـصل بذلك على أقل تكلفة ممكنة للمـخزون فى وحـدة الزمـن. ومن الواضح أنه لا يمكن أن يحـصل تراكم للمـخـزون فى المرحلة رقم (1)، ما لم يكن معدل التراكم $(P - D)$ أكبر من معدل الاستهلاك D فى هذه المرحلة.

ويمكن توضيح ذلك بمثال عددى. نفترض أن شركة أجهـزة تليفزيونية تقـوم بإنتـاج $P = 9{,}000$ جهازًا شهريًا، ويتم بيع ما معدله $D = 4{,}500$ جهازًا شهريًا ، ويخزن الكمية المتبقية ، وتقدر تكلفة تجهيز المعدات $U =$ LE 2,000 لكل مرحلة إنتاجية. أما تكاليف التخزين الشهرية فتقدر بمبلغ $H =$ LE 1.00 لكل جهاز ، وبذلك يمكن حساب الكمية الاقتصادية للإنتاج على النحو التالى :

$$L^* = \sqrt{\frac{2\ PUD}{H(P-D)}} = \sqrt{\frac{2\ (9{,}000)\ (2{,}000)\ (4{,}500)}{1.00\ (9{,}000 - 4{,}500)}} = 6{,}000$$

أما التكلفة الكلية للمخزون فى الشهر فتحسب على النحو التالى :

$$TC(L^*) = \frac{H\ (P-D)\ L^*}{2P} + \frac{UD}{L^*}$$

$$= \frac{1.00\ (9{,}000 - 4{,}500)\ (6{,}000)}{2\ (9{,}000)} + \frac{(2{,}000)\ (4{,}500)}{6{,}000}$$

$$= \text{LE } 3{,}000$$

ويصبح طول المرحلة رقم (1) على النحو التالى :

$$t_1^* = \frac{L^*}{P} = \frac{6,000}{9,000} = 2/3 \text{ شهر}$$

أى 20 يومًا . ويكون أعلى مستوى للمخزون على النحو التالى :

$$I_{max} = (P - D)\, t_1 = (P - D)\, L/P$$
$$= (9,000 - 4,500)\ (2/3)$$
$$= (9,000 - 4,500) \left[\frac{6,000}{9,000}\right]$$
$$= 3,000 \text{ جهاز}$$

ويكون معدل المخزون على النحو التالى :

$$I_a = \frac{I_{max}}{2} = \frac{3,000}{2} = 1,500 \text{ جهاز}$$

وتصبح طول المرحلة رقم (2) على النحو التالى :

$$t_2^* = \frac{(P - D)\, L^*}{DP} = \frac{(9,000 - 4,500)\ (6,000)}{(4,500)\ (9,000)} = 2/3 \text{ شهر}$$

أى 20 يومًا ، فتكون طول الدورة التخزينية على النحو التالى :

$$t = t_1 + t_2 = \frac{2}{3} + \frac{2}{3} = 4/3 \text{ شهر}$$

أى 40 يومًا . وعدد مرات الإنتاج فى الشهر تكون على النحو التالى :

$$N^* = \frac{D}{L^*} = \frac{4,500}{6,000} = 3/4$$

أو 3 مرات كل أربعة شهور .

الفصل الثانى: نماذج تنظيم المعدات

المنظومات الإنتاجية قلّما تخلو من حاجتها إلى اتخاذ قرارات خاصة بشأن تحديد مواقع المصانع (Plant Layout)، وتصميم سعات المخرجات (Capacity Design)، وتخطيط معدات الإنتاج (Facility Layout). ومن العوامل التى تؤثر فى تحديد موقع المصنع مدخلات المنظومة الإنتاجية من خامات وعمالة وأموال، وتكنولوجيا تشغيل المعدات، ومخرجات المنظومة سواء كانت اقتصادية أو غير اقتصادية، ومناخ البيئة على مختلف المستويات. ومن العوامل التى تؤثر فى تصميم سعات المخرجات نوعية المنتجات، وطرق التشغيل، وحجم الإنتاج. أما العوامل التى تؤثر فى تخطيط معدات الإنتاج فهى تصميمات السعة، وسعات المنظومة، وإستراتيجيات التشغيل.

وتصميم المعدات يجب أن يتلاءم مع موقع المصنع، وبالتالى يؤثر الموقع على السعات. وتتميز السعات بعدد الوحدات، أو بوقت الخدمة، أو بساعات مراكز التشغيل، وليس بقيمة المبيعات. أما تصميم السعة لأى معدة من المعدات، فهو المعدل الهندسى لمخرجات منتجات معيارية تحت شروط تشغيل عادية. ويتأتى هذا من التعرف على طلبات العملاء، ومن السياسات المتبعة فى تلبية هذه الطلبات.

وتصميم مراكز التشغيل، يتطلب مراعاة تزويد هذه المراكز بالمياه الجارية، والصرف الصحى، والتيار الكهربائى، والهواء المضغوط، والبخار، والتهوية، والتدفئة، والتبريد، والترطيب، وغيرها من احتياجات تشغيل المعدات فى هذه المراكز. كما تحتاج المصانع إلى خدمات للعاملين من قاعات طعام، ودورات مياه، ووحدات خلع ملابس، وعيادة طبية. هذا بالإضافة إلى مخازن ورصيف تحميل وتفريغ، ومركز حاسب آلى، وخدمات أخرى متنوعة.

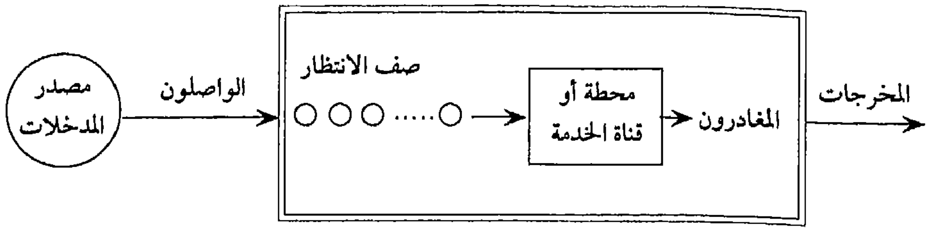
وسعة المنظومة الإنتاجية هى أقصى إنتاجية لمنتج معين أو خلطة من عدة منتجات، يمكن للمنظومة أن تنتجها. ويجب الأخذ فى الحسبان العلاقة بين السعة المصممة، وسعة المنظومة، والمخرجات الحقيقية. وتتأثر السعة المصممة بخلطة المنتجات، وحالة السوق الطويلة الأمد، ودقة المواصفات الفنية للمنتج التى تتطلب جودة عالية، وعدم التوازن بين متطلبات المعدات ومهارة العمالة. وتتأثر سعة المنظومة بالطلب الحقيقى، ومستوى الأداء الإدارى من تخطيط وجدولة ومتابعة، ومستوى كفاءة العمالة ودرجة مهارتهم، ومستوى مجهوداتهم، ومستوى كفاءة المعدات بسبب الأعطال والتقادم والتآكل. وتقاس كفاءة المنظومة للمخرجات الحقيقية من سلع أو خدمات كنسبة من سعة المنظومة.

وتُعَدّ نظريات صفوف الانتظار من الأساليب العشوائية المستخدمة فى تحليل المنظومات التصنيعية التى تنتج سلعة، أو المنظومات الخدمية التى تقدم خدمة. ويضطر طالبو الخدمة، سواء كانت منتجات أو خدمات، إلى الانتظار فى صفوف لحين الحصول على هذه الخدمة. وتهدف هذه النظريات إلى تقويم مستوى الخدمة، وكذا حساب تكلفة تقديم الخدمة لتعظيم مدى الاستفادة من المنظومة، وعادة ما يكون الناتج هو تخفيض التكلفة الإجمالية المصاحبة للوقت الضائع فى محطات الخدمة مقابل تكلفة انتظار العاملين (المعدات) أو العملاء (المنتجات).

وتتنوع مشكلات الانتظار فى صفوف لتلقى خدمات معينة. فالوحدات الإنتاجية المصنعة تنتظر مُعلقة فى سير كاتينة لمعالجتها كيميائيًا فى أحواض التنظيف، ثم دهانها كهربيًا فى غرفة الدهان، ثم تجفيفها حراريًا فى فرن التجفيف. والطائرات تنتظر على الممرات بالمطار تمهيدًا لتلقى الإذن بالإقلاع. والسفن تنتظر على الرصيف فى الموانى تهميدًا لشحن أو تفريغ البضائع.

وصفوف الانتظار تُعَدّ ظاهرة عامة، عندما يزيد طالبو الخدمة عن سعة مقدمى هذه الخدمة. ونظرًا لكون عملية وصول طالبى الخدمة إلى المنظومة، وعملية خدمة المنتظرين فى المنظومة من العمليات العشوائية المتغيرة بتغير الزمن، فإنه يصعب تحقيق مستوى خدمة مقبول لطالبيها بحيث يكون متوازنًا مع مستوى تكلفة معقولة لتقديم هذه الخدمة.

ومعالجة مشكلات الانتظار لتلقى خدمات تتطلّب صياغتها فى منظومات ذات أربعة عناصر رئيسية هى: المدخلات أى الوافدون (Inputs)، والطابور أى صف الانتظار (Queue or Wating Line)، والخدمة أى قنوات أو محطات الخدمة (Service Stations) والمخرجات أى المغادرون (Outputs)، وهى موضحة فى الشكل رقم (07 - 5).



شكل رقم (07 - 5): هيكل منظومة صفوف الانتظار

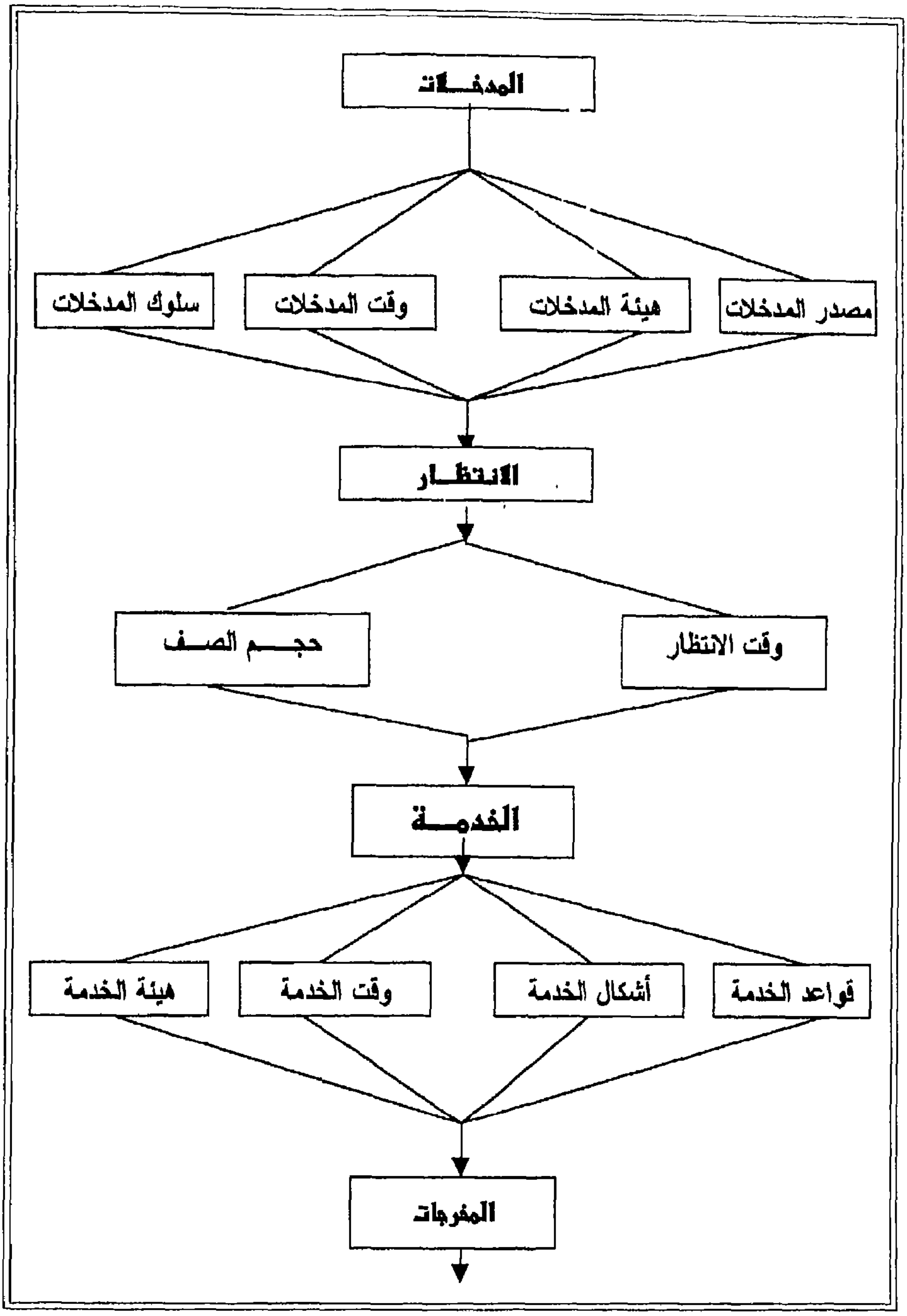
وتتلخص منظومة صفوف الانتظار فى تتابع وصول العملاء أو الوحدات التى تطلب خدمات معينة وهى متولدة من مصدر معين؛ ويضطر هؤلاء العملاء إلى الانتظار فى صف معين ـ إذا كانت محطات أو قنوات الخدمة مشغولة ـ لتلقى الخدمة؛ وعندما تتوافر الخدمة ينتقل العميل أو الوحدة إلى محطات أو قنوات الخدمة لتلقى الخدمة المطلوبة؛ وبعد الانتهاء من تلقى الخدمة يترك العميل المنظومة.

وتوصف عناصر منظومة صفوف الانتظار بخواص مميزة، وفروض معينة، موضحة فى الشكل رقم (08 - 5) والتى تساعد فى نمذجة هذه المنظومة رياضيّاً، وهى على النحو التالى.

المدخلات (Inputs). المدخلات يمكن توصيفها بعدة خصائص منها: المصدر الذى يتولد منه الواصلون، والهيئة التى يصل عليها الواصلون، والتوزيعة الاحتمالية لعدد الواصلين فى فترة معينة، والسلوك الخاص بالواصلين، وهى على النحو التالى:

* **مصدر المدخلات (Input Source).** المصدر الذى يتولد منه العملاء أو الوحدات، وهو إما مصدره مالا نهاية (Infinite Source) مثل المصدر الذى يتولد منه المرضى المحتاجون للعلاج فى المستشفى؛ وإما مصدر نهاية (Finite Source) مثل المصدر الذى يتولد منه ماكينات المصنع المتعطلة التى تحتاج إلى إصلاح فى الورشة.

* **هيئة المدخلات (Arrival Pattern).** الهيئة التى يصل عليها العملاء أو الوحدات، وهى إما تدفق منقطع (Discrete)، وفى هذه الحالة يمكن الوصول فرادى (Single Arrivals) مثل وصول الطائرات فرادى إلى أرض المطار، أو الوصول جماعات (Group Arrivals) مثل وصول أسرة إلى مطعم؛ وإما تدفق مستمر (Continuous Flow)مثل انسياب البترول فى أنابيب.



شكل رقم (08 - 5): عناصر منظومة صفوف الانتظار

* **وقت المدخلات (Arrival Time)**. الوقت الذى يصل فيه العملاء أو الوحدات، يكون منتظمًا (Regular)، أو مبرمجًا (Controlled)، أو عشوائيا (Random) أى أنه يتبع توزيعة احتمالية مثل وصول عملاء إلى مكتب البريد عشوائيًا. وتوصف هذه الخاصية إما بمعدل الوصول (عدد العملاء فى وقت معين متغير عشوائيًا)؛ وإما بمعدل الفترة الفاصلة بين دخول عميلين متتابعين (وقت ما بين دخول عميلين متغير عشوائيًا)، ومن البديهى أن كلاً من هذين المتغيرين يؤدى إلى الآخر.

* **سلوك المدخلات (Arrival Behaviour)**. التصرف الذى يسلكه العملاء عند دخول المنظومة، يكون صبورًا (Patient) وينتظر حتى يتلقى الخدمة، أو غير صبور (Impatient)، وفى ذلك عدة حالات: يدخل المنظومة ويجدها مزدحمة فيغادرها (Balking)، أو يدخل المنظومة لفترة معينة ثم ينصرف إذا لم يتلق الخدمة خلال هذه الفترة (Reneging)، أو يتصرف طبقًا لحالة صف الانتظار (Adapting to Queue Condition)، أو ينتقل بسيارته من حارة إلى حارة بالطريق دون أن يعلم ما حدث من أسباب توقف السيارات أو تحركها ببطء (Incomplete Information).

الانتظار (Queues). الصف أو الطابور يمكن توصيفه بعدة خصائص منها حجم الصف، ووقت الانتظار فى الصف، وهو على النحو التالى:

* **وقت الانتظار (Waiting Time)** .الوقت الذى ينتظره العميل يكون منتظمًا، أو مبرمجًا أو عشوائيًا، يتبع توزيعة احتمالية معينة، وتوصف هذه الخاصية بمعدل فترة الانتظار بين تلقى عميلين متتابعى الخدمة.

* **حجم الصف (Queue Size)**. الصف الذى ينتظر فيه العملاء حتى يتلقوا الخدمة يكون إما محددًا (Limited) مثل عدد كراسى الانتظار فى صالون حلاقة، وإما غير محدَّد (Unlimited) مثل الانتظار أمام بوابات الإستاد الرياضى.

الخدمة (Services). الخدمة يمكن توصيفها بعدة خصائص منها: قواعد تلقى الخدمة، وشكل قنوات الخدمة، وهيئة الخدمة، ووقت الخدمة، وهى على النحو التالى:

* **قواعد الخدمة (Service Discipline)**. النظام الذى يتم به اختيار العملاء لتلقى الخدمة أى اتباع الخدمة يكون: حسب ترتيب الوصول (First-In, First-Out, FIFO) كما يحدث عند الحلاق؛ أو حسب عكس ترتيب الوصول (Last-In, First-Out, LIFO) كما

يحدث فى المخازن؛ أو حسب أقصر وقت خدمة (Shortest Service Time, SST)، أو بطريقة عشوائية (Selection in Random Order, SIRO) كما يحدث عند إدخال البيانات فى الحاسب؛ أو وفقًا للأولويات (Priorities, PRI) كما يحدث فى حالات الطوارئ بالمستشفيات.

* **أشكال الخدمة (Service Mechanism).** الأشكال التى تصمم للقنوات والمراحل لتقديم الخدمة، وهى موضحة فى الشكل رقم (09 - 5) على النحو التالى:

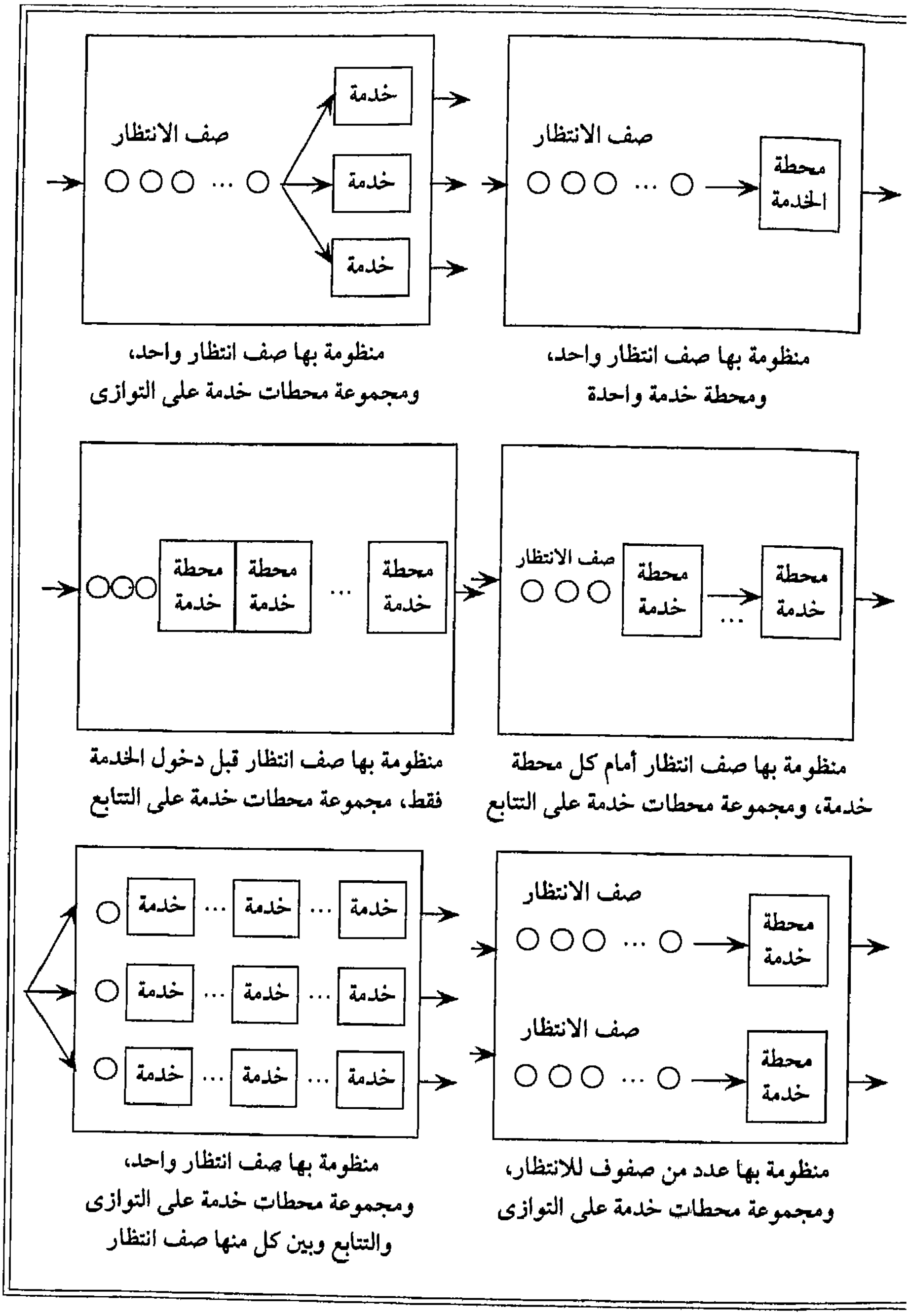
** عملية خدمة العملاء تتم عن طريق قناة واحدة، ومرحلة واحدة (Single Channel, Single Phase) مثل صالون حلاقة بعدَّة كراسى للانتظار، وكرسى واحد للحلاقة؛ أو

** عملية خدمة العملاء تتم عن طريق قنوات متعددة بشكل متواز، ومرحلة واحدة (Multiple Channel on Parallel, Single Phase) مثل المواطنين الذين يقفون فى المطار فى صف واحد أمام أحد المنافذ المتعددة لختم جواز السفر عند دخول البلاد؛ أو

** عملية خدمة العملاء تتم عن طريق قناة واحدة، ومراحل متعددة بشكل تتابعى (Single Channel, Multiple Phase on Series)، وهو إما يوجد صف انتظار قبل كل مرحلة مثل المرضى الذين ينتقلون من غرفة إلى غرفة لإجراء الفحص الطبى، وإما بدون صف انتظار بين المراحل المتعددة كعملية تجميع سلعة معينة على خط إنتاج مستمر؛ أو

** عملية خدمة العملاء تتم عن طريق قنوات متعددة بشكل متواز، ومراحل متعددة بشكل تتابعى(Multiple Channel on Paralled, Multiple Phase on Series) أى أن نفس الخدمة تُؤدى لعدد من العملاء فى نفس الوقت، والخدمة فى كل قناة تمر بعدة مراحل متتابعة بينها صفوف انتظار أو بدون، مثل عمل عمرات للمحركات.

* **وقت الخدمة (Service Time).** الوقت الذى يمضى فى خدمة العميل، يكون منتظمًا، أو مبرمجًا، أو عشوائيًا يتبع توزيعة احتمالية معينة، وتوصف هذه الخاصية بمعدل فترة الخدمة بين دخول عميلين متتابعين لتلقى الخدمة.



شكل رقم (09 - 5): أشكال الخدمة فى منظومة صفوف الانتظار

* **هيئة الخدمة (Service Pattern)**. الهيئة التى يتلقى عليها العملاء الخدمة تكون إما خدمة فردية (Single Service) مثل الحلاقة لعميل، وإما خدمة مجموعة فى نفس الوقت (Service in Batch) مثل تجفيف عدد من الوحدات المتشابهة فى الفرن بعد الدهان.

المخرجات (Outputs). المغادرة يمكن توصيفها بعدة خصائص إذا اتبعت منظومة خدمية أو منظومات أخرى.

ونظراً لكثرة العوامل التى تتصف بها منظومة صفوف الانتظار، يفضل أن تحدد بعض الرموز التى تعبر عن خصائص المنظومة، وهى على النحو التالى:

$$(A / B / C) : (U / V / W)$$

حيث:

A تعبر عن توزيعة احتمالية للوصول أو وقت ما بين وصولين.

B تعبر عن توزيعة احتمالية لوقت الخدمة.

ويمكن التعبير عن أى من A أو B على النحو التالى:

M توزيعة بواسون (Poisson) للوصول، أو توزيعة آسية (Exponential) لما بين وصولين متتابعين، أو

GI توزيعة عامة مستقلة، أو

G توزيعة عامة، أو

D وقت ما بين وصولين متتابعين أو وقت الخدمة.

بالإضافة إلى الرموز التالية:

C تعبر عن عدد محطات الخدمة.

U تعبر عن قواعد الخدمة.

ويمكن التعبير عن قواعد الخدمة U على النحو التالى:

FCFS داخل أولاً يُخدم أولاً، أو

LCFS داخل أخيراً يُخدم أولاً، أو

SIRO خدمة عشوائية، أو

SPT خدمة ذات أقل زمن تشغيل، أو

GD خدمة عامة.

بالإضافة إلى الرموز التالية:

V تعبر عن أقصى عدد مسموح به فى المنظومة (صف الانتظار ومحطة الخدمة) .

W تعبر عن مصدر الوصول، إما محدود أو لا نهائى .

وعلى هذا فإنه يمكن وصف أى منظومة صفوف انتظار بهذه الرموز .

وإذا رجعنا إلى الفصل الثالث من الباب الثالث عن تمثيل النموذج الرياضى لمصعد البرج فى الجزء الأول، نجد أن أبسط نموذج رياضى لصفوف الانتظار هو على النحو التالى :

$$0 = -(\lambda_n + \mu_n)\, P_n + \lambda_{n-1}\, P_{n-1} + \lambda_{n+1}\, P_{n+1}, \quad n = 1,2,....$$

$$0 = -\lambda_0\, P_o + \mu_1\, P_1$$

وبعد حساب قيمة احتمال تواجد n فى المنظومة P(n)، ومع اعتبار أن c تساوى عدد قنوات الخدمة المتوازية، فإنه يسهل حساب مقاييس الأداء أو معايير المنظومة، وهى على النحو التالى :

* متوسط عدد العملاء المتوقع انتظارهم فى الصف (عدد القنوات c) .

$$L_q = \sum_{n=c}^{\infty} (n - c)\, P(n) = \lambda W_q$$

* متوسط عدد العملاء المتوقع تواجدهم فى المنظومة :

$$L_s = \sum_{n=c}^{\infty} nP(n) = L_q + \lambda / \mu$$

* متوسط وقت الانتظار المتوقع فى الصف :

$$W_q = L_q / \lambda$$

* متوسط وقت التواجد المتوقع فى المنظومة :

$$W_s = L_s / \lambda = W_q + \frac{1}{\mu}$$

* متوسط عدد العملاء الذين يتلقون الخدمة :

$$L_{s\text{-}q} = L_s - L_q = \lambda / \mu$$

* نسبة الوقت الذى تكون المنظومة فيه مشغولة :

$$\sum_{n=c}^{\infty} P_n = 1 - P_o$$

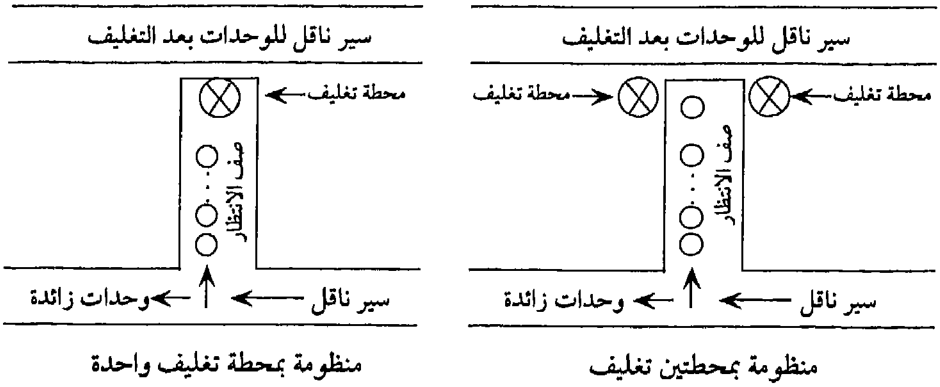
* قيمة احتمال تواجد r عميل على الأقل فى المنظومة :

$$P\,(N \geq r) = \sum_{N=r}^{\infty} P(n)$$

ويمكن تفهم الفكرة عن طريق تقديم نموذج يمثل وحدة تغليف بعض السلع مزودة بمحطة واحدة، وأخرى مزودة بمحطتين، وكذا نموذج آخر يمثل محطة غسيل السيارات مزودة بصف انتظار ذى حجم لا نهائى، وأخرى مزودة بصف انتظار ذى حجم محدَّد، أى أنه لا يسع أكثر من عدد محدود من السيارات التى تنتظر الغسيل.

نموذج سعة المحطات:

توجد فى أحد المصانع وحدة تغليف سلعة معينة، تصل السلع آليّا على سير ناقل أمامه مكان لانتظار السلع أمام الوحدة تسع 5 وحدات فقط. وتصل الوحدات عشوائيا إلى محطة التغليف، وإذا ملئ صف الانتظار، حُولت الوحدات إلى مخزن فرعى، ويتبع وصول الوحدات توزيعة بواسون الاحتمالية بمعدل وحدة واحدة فى الدقيقة. أما وقت التغليف، فيتبع التوزيعة الأسية الاحتمالية بمتوسط 45 ثانية للوحدة. وتفكر إدارة المصنع فى إضافة محطة تغليف أخرى بدلاً من محطة واحدة، أى أن المنظومة المقترحة ستكون مزودة بمحطتى تغليف، وفى هذه الحالة تكون سعة المحطة 7 وحدات أى وحدتان فى محطتى التغليف بالإضافة إلى 5 وحدات فى صف الانتظار. أما المنظومة الحالية ففيها محطة تغليف واحدة بالإضافة إلى 5 وحدات فى صف الانتظار، فتكون سعة المحطة 6 وحدات. والشكل رقم (10 - 5) يوضح المنظومتين. ويلاحظ هنا أننا ثبتنا سعة صف الانتظار، وغيرنا فى عدد محطات الخدمة فقط.



شكل رقم (10 - 5): منظومة تغليف السلع بمحطة واحدة وبمحطتين

ولمقارنة كفاءة المنظومتين، وجب تمثيلهما بنموذج رياضى(Queueing Model) بالمعدلات والمتوسطات الموضحة على النحو التالى:

النموذج الثانى

(M/M/2) : (FCFS /7/ ∞)

$$\lambda_n = \begin{cases} 2, & n = 0,1,\dots,6 \\ 0, & n = 7 \end{cases}$$

$$\mu_n = \begin{cases} 0, & n = 0 \\ \frac{4}{3}, & n = 1 \\ \frac{8}{3}, & n = 2,3,\dots,7 \end{cases}$$

النموذج الأول

(M/M/1) : (FCFS /6/ ∞)

$$\lambda_n = \begin{cases} 1, & n = 0,1,\dots,5 \\ 0, & n = 6 \end{cases}$$

$$\mu_n = \begin{cases} 0, & n = 0 \\ \frac{4}{3}, & n = 1,2,\dots,6 \end{cases}$$

ففى المنظومة المزودة بمحطة تغليف واحدة، يمكن حساب الاحتمالات الممكنة على النحو التالى:

$$P_1 = \left(\frac{\lambda_0}{\mu_1}\right) P_0 = \frac{1}{4/3}\; P_0 = \left(\frac{3}{4}\right) P_0$$

$$P_2 = \left(\frac{\lambda_0 \lambda_1}{\mu_1 \mu_2}\right) P_0 = \frac{(1)\ (1)}{(^4/_3)\ (^4/_3)} \quad P_0 = \left(\frac{3}{4}\right)^2 P_0$$

.
.
.

$$P_6 = \left(\frac{\lambda_0 \lambda_1 \ldots \lambda_5}{\mu_1 \mu_2 \ldots \mu_6}\right) P_0 = \frac{(1)\ (1) \ldots (1)}{(^4/_3)\ (^4/_3) \ldots (^4/_3)} \quad P_0 = \left(\frac{3}{4}\right)^6 P_0$$

ويحسب احتمال عدم وجود أى وحدات فى المنظومة P_0 على النحو التالى :

$$P_0 = \left(1 + (^3/_4) + (^3/_4)^2 + (^3/_4)^3 + (^3/_4)^4 + (^3/_4)^5 + (^3/_4)^6\right) = 1$$

$$= \left(\frac{14,197}{4,097}\right) = 3.466\, P_0$$

$$= 0.2885$$

وذلك على أساس أن مجموع الاحتمالات فى المنظومة تساوى واحدًا صحيحًا. وعليه يمكن إعادة حساب جميع الاحتمالات ، $P_n, n = 1,2,...,6$ وهى موضحة فى الجدول رقم (01 - 5) مبينة أن احتمال كون المنظومة خالية هو حوالى 29% من الوقت الكلى ، فى حين أن احتمال كون المنظومة كاملة أى بها 6 وحدات هو حوالى 5% فقط .

ويمكن حساب المقاييس المعيارية للتعرف على كفاءة المنظومة المزودة بمحطة تغليف واحدة على النحو التالى :

* متوسط عدد الوحدات فى المنظومة :

$$L_s = \sum_{n=0}^{6} n P_n = 1.9216 \quad \text{وحدة}$$

* متوسط عدد الوحدات فى صف الانتظار :

$$L_q = \sum_{n=0}^{6} (n-1) P_n = 1.2101 \quad \text{وحدة}$$

* معدل وصول الوحدات المؤثر (Effective Arrival Rate) :

$$\hat{\lambda} = (L_s - L_q)\,\mu \quad \text{or} \quad (1 - P_6)\,\lambda = 0.9487 \quad \text{وحدة/ دقيقة}$$

* مدى الاستفادة من المنظومة :

$$U = (L_s - L_q)/c = 0.7116 \quad or \quad 71.15\%$$ دقيقة

* متوسط الوقت الذى تقضيه الوحدة فى المنظومة .

$$W_s = L_s / \hat{\lambda} \quad or \quad W_q + 1/\mu = 2.0303$$ دقيقة

* متوسط الوقت الذى تقضيه الوحدة فى صف الانتظار :

$$W_q = L_q / \hat{\lambda} = 1.2755$$ دقيقة

وإذا قمنا بتحليل المنظومة المقترحة المزودة بمحطتى تغليف ، فبالمثل يمكن حساب الاحتمالات P_n, n = 0,1,2,...,7 ، والمقاييس المعيارية للتعرف على كفاءة هذه المنظومة ، وهى موضحة فى الجدول رقم (01 - 5) للمقارنة بين المنظومتين . ويلاحظ أن احتمال كون المنظومة المقترحة خالية من الوحدات هى حوالى 16% من الوقت الكلى (المنظومة ذات المحطة الواحدة 29%) ، فى حين أن احتمال كون المنظومة كاملة أى بها 7 وحدات هى 4.5% من الوقت الكلى (المنظومة ذات المحطة الواحدة 5% فقط) .

جدول رقم (01 - 5) : مقارنة بين احتمالات ومعايير منظومتى تغليف السلع

(M/M/1) : (FCFS /6/ ∞)	(M/M/2) : (FCFS /7/ ∞)	النموذج
P_0 = 28.85 % P_1 = 21.64 % P_2 = 16.23 % P_3 = 12.17 % P_4 = 9.13 % P_5 = 6.85 % P_6 = 5.13 %	P_0 = 16.13 % P_1 = 24.20 % P_2 = 18.15 % P_3 = 13.61 % P_4 = 10.21 % P_5 = 7.66 % P_6 = 5.74 % P_7 = 4.30 %	الاحتمالات
L_s = 1.92 وحدة L_q = 1.21 وحدة λ = 0.948 وحدة / دقيقة U = 71.15% W_s = 2.03 دقيقة W_q = 1.28 دقيقة	L_s = 2.45 وحدة L_q = 1.01 وحدة λ = 1.914 وحدة / دقيقة U = 71.77% W_s = 1.28 دقيقة W_q = 0.53 دقيقة	المعايير

نموذج سعة الصفوف:

يوجد فى إحدى محطات خدمة السيارات بوسط المدينة وحدة تنظيف وغسيل السيارة من الداخل والخارج، وهى لا تخدم إلا سيارة واحدة فى المرَّة الواحدة. ويتبع وصول السيارات إلى وحدة الغسيل توزيعة بواسون بمعدل 4 سيارات فى الساعة، كما أن غسيل السيارة يتبع التوزيعة الأسيَّة بمعدل 6 سيارات فى الساعة. وكان مدير المحطة يعتمد على أرض فضاء مجاورة له لانتظار السيارات، فكان حجم صف الانتظار لا نهائى. ولكن نظراً للشروع فى بناء هذه الأرض، فقد اضطر مدير المحطة إلى إخلاء مكان فى المحطة ليحتوى أربع سيارات فقط انتظاراً لخدمة التنظيف والغسيل. فإذا كانت محطة الخدمة وصف الانتظار مشغولين، تتوجه السيارات إلى محطة خدمة أخرى. والمطلوب معرفة مدى كفاءة المنظومتين.

وتختلف هاتان المنظومتان فى سعة صف الانتظار. فالمنظومة الأولى مزودة بصف انتظار للسيارات لا نهائى العدد. أما صف الانتظار فى المنظومة الأخرى فهو محدد بأربع سيارات فقط. ولمقارنة كفاءة المنظومتين، وجب تمثيلهما بنموذج رياضى بالمعدلات والمتوسطات التالية:

النموذج الثانى

$$(M/M/1)\ :\ (GD/5/\infty)$$

$$\lambda_n = \begin{cases} 4, & n = 0,1,\ldots,4 \\ 0, & n = 5,6,\ldots \end{cases}$$

$$\mu_n = \begin{cases} 0, & n = 0 \\ 6, & n = 1,2,\ldots,5 \end{cases}$$

النموذج الأول

$$(M/M/1)\ :\ (GD/\infty/\infty)$$

$$\lambda_n = 4, \quad n = 0,1,\ldots$$

$$\mu_n = \begin{cases} 0, & n = 0 \\ 6, & n = 1,2,\ldots,\infty \end{cases}$$

ويمكن حساب قيم الاحتمالات، وهى موضحة فى الجدول رقم (02 - 5)، مع ملاحظة أن إجمالى قيم الاحتمالات فى المنظومة الأولى تصل إلى الواحد الصحيح بعد أن يصل عدد السيارات فى المنظومة إلى حوالى 26 سيارة. كما يمكن حساب مختلف المعايير للمنظومة الأولى، حتى نتعرف على سلوك تشغيل هذه المنظومة ذات السعة اللانهائية لصف الانتظار، وذلك على النحو التالى:

* متوسط عدد السيارات فى المنظومة :

$$L_s = \sum_{n=0}^{\infty} nP_n = 2 \quad \text{سيارة}$$

* متوسط عدد السيارات فى صف الانتظار :

$$L_q = \sum_{n=1}^{\infty} (n-1) P_n = 1.333 \quad \text{سيارة}$$

* معدل وصول السيارات المؤثرة (Effective Arrival Rate):

$$\hat{\lambda} = (L_s - L_q)\,\mu = (2 - 1.333)\,6 \approx 4 \ \text{سيارة}$$

* احتمال وجوب انتظار سيارة قبل خدمتها :

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_n - P_0 = 1 - 0.3333 = 0.6667 = 0.6667 \approx 67\%$$

* متوسط الوقت الذى تقضيه السيارة فى المنظومة :

$$W_s = L_s / \hat{\lambda} = 0.5 \ \text{ساعة} = 30 \ \text{دقيقة}$$

* متوسط الوقت الذى تقضيه السيارة فى صف الانتظار :

$$W_q = L_q / \hat{\lambda} = 0.333 \ \text{ساعة} = 20 \ \text{دقيقة}$$

أما المنظومة المزودة بصف انتظار يسع 4 سيارات فقط، فإنه يمكن حساب مختلف المعايير على النحو التالى :

* متوسط عدد السيارات فى المنظومة :

$$L_s = \sum_{n=0}^{5} nP_n = 1.423 \quad \text{سيارة}$$

* متوسط عدد السيارات فى صف الانتظار :

$$L_q = \sum_{n=1}^{5} (n-1) P_n = 0.788 \quad \text{سيارة}$$

* معدل وصول السيارات المؤثرة (Effective Arrival Rate) :

$$\hat{\lambda} = \sum_{n=0}^{4} \lambda_n P_n = 4 \sum_{n=0}^{4} P_n = 4\,(0.9519) = 3.8075 \quad \text{سيارة}$$

* احتمال وجوب انتظار سيارة قبل خدمتها :

$$\sum_{n=0}^{5} P_n - P_0 = 1 - 0.3654 = 0.6346 \approx 63\ \%$$

* متوسط الوقت الذى تقضيه السيارة فى المنظومة.

$$W_s = L_s / \hat{\lambda} = \frac{1.42256}{3.8075} = 0.37362 \text{ ساعة} \approx 22.4 \text{ دقيقة}$$

* متوسط الوقت الذى تقضيه السيارة فى صف الانتظار:

$$W_q = L_q / \hat{\lambda} = \frac{0.78797}{3.8075} = 0.20695 \text{ ساعة} \approx 12.4 \text{ دقيقة}$$

ويمكن لمدير المحطة أن يحسب متوسط عدد السيارات التى لم تدخل المنظومة بسبب
وجود مكان فى صف الانتظار حتى آخر اليوم على النحو التالى:

$$(\lambda - \hat{\lambda}) = (4 - 3.8075) \text{ (8 ساعات فى اليوم)} = 1.54 \text{ سيارة}$$

أى حوالى 6.25% من جميع السيارات التى وصلت فى اليوم الواحد ولم
المنظومة بسبب عدم وجود مكان فى صف الانتظار. وجميع المعايير موضحة فى ا
رقم (02 - 5).

جدول رقم (02 - 5) : مقارنة بين معايير منظومتى محطة غسيل السيارات

النموذج	(M/M/2) : (FCFS /5/ ∞)	M/1) : (FCFS / ∞ / ∞)
الاحتمالات	P_0 = 36.54 % P_1 = 24.36 % P_2 = 16.24 % P_3 = 10.83 % P_4 = 7.22 % P_5 = 4.81 %	$_0$ = 33.33 % $_1$ = 22.22 % $_2$ = 14.82 % $_3$ = 9.88 % $_4$ = 6.58 % $_5$ = 4.39 % $_6$ = 2.93 % ⋮ 25 = 0.001 % ⋮
المعايير	L_s = 1.423 سيارة L_q = 0.788 سيارة W_s = 22.42 دقيقة W_q = 12.42 دقيقة	$_s$ = 2 سيارة $_q$ = 1.333 سيارة V_s = 30 دقيقة V_q = 20 دقيقة

وبذلك نكون قد حققنا 25% من وقت الانتظار على حساب فقدان متوسط 6.25
جميع السيارات التى وصلت فى اليوم الواحد، بسبب عدم توافر أماكن فى صف الان

الفصل الثالث: نماذج تنظيم العمالة

المنظومات الإنتاجية قلّما تخلو من حاجتها إلى قرارات خاصة بشأن تحديد وتنظيم عمالة التي تمثل أعظم الأصول قيمة من أى منظومة، حيث إنها ذات قيمة طبيعية لا اريها المعدات، كما أنها ذات مهارات متباينة فى النوعية والمستوى، وذات عواطف ختلفة فى الأداء لا تتواجد فى الماكينة. والعمل يمثل دوراً مهمّا فى تكوين وبناء شخصية الإنسانية، وفى علاقات الأفراد والمجتمعات. فعن طريق العمل يحقق عامل ذاته وكيانه، حيث يشعر بقدراته وإمكاناته فى عمل نافع، سواء كان بالنسبة شخصه أو لمجتمعه.

ولا تقتصر أهمية العمل فى تحقيق الذات الإنسانية والانتماء إلى المجتمع، بل تساهم ى تحقيق الاستقرار. فطالما يعمل الإنسان فهو يشعر بالاطمئنان فى حاضره ومستقبله. العمل يعنى التحرر من كل أسباب الخوف والقلق، وهذه كلها أمور ضرورية لتحقيق تقدم. فالمجتمعات تعيش وتنمو وتزدهر بالعمل، ومراتب الأفراد إنما تعلو وتتقدم فضل العمل.

موذج تخصيص العمالة:

تهدف منظومة التخصيص الخطى إلى تخصيص موارد معينة أو عمالة ذات مهارات عينة، للقيام بنشاط محدد فى أقل وقت ممكن، أو أقل تكلفة ممكنة، أو للحصول على جودة عالية.

ومنظومة التخصيص تشمل جدولة عمال بمهارات متباينة على ماكينات تحتاج إلى خبرة عمالية معينة (واحد إلى واحد)، أى أن عدد العمال يساوى عدد الماكينات، بحيث ينتهى لتخصيص بأقل تكلفة ممكنة. ويراعى أنه يمكن استيفاء هذا الشرط بإضافة عامل وهمى أو ماكينة وهمية.

ومنظومة التخصيص يمكن تحويلها إلى منظومة نقل، بحُسبان العمال كالمصادر، والماكينات كالغايات، وكل من الواردات والطلبات تساوى واحد، وبذلك يمكن تشكيل نموذج التخصيص الخطى الأوَّلى والثانوى كنموذج برمجة خطية على النحو التالى :

نموذج أولى (Primal)	نموذج ثانوى (Dual)
صغر دالة الهدف	عظم دالة الهدف
$Z = \sum_{i}^{n} \sum_{j}^{n} c_{ij}\, x_{ij}$	$W = \sum_{i=1}^{n} u_i + \sum_{j=1}^{n} v_j$
طبقًا للقيود	طبقًا للقيود
$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \quad i = 1,2,\ldots,n$	$u_i + v_j \le c_{ij}$
$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1, \quad j = 1,2,\ldots,n$	
وقيود اللاسلبية	وقيود المتغيرات
$x_{ij} = 0 \text{ or } 1$	u_i , v_j , unrestricted

ويمكن توضيح الحل الثانى فى الصيغة التالية :

$$p_i = \min_j \; [\, c_{ij} \,] \qquad , \quad i = 1,2,\ldots, n$$

$$q_j = \min_i \; [\, c_{ij} - p_i] \quad , \quad j = 1,2,\ldots, n$$

حيث :

p_i = أصغر قيمة ثانوية فى الصف i

q_j = أصغر قيمة ثانوية فى العمود j، بعد طرح p_i من الصف التابع .

فإذا كان $p_i + q_j = c_{ij}$ أو $p_i + q_j - c_{ij} = 0$، فيكون معامل المتغير x_{ij} فى دالة الهدف فى جدول السمبلكس للبرمجة الخطية مرشحًا لأن يكون المتغير الأمثل. ومما هو جدير بالذكر أن قيم u_i و v_j و x_{ij} المثلى يجب أن تجعل هذه العلاقة صحيحة :

$$(u_i + v_j - c_{ij})\, x_{ij} = 0 , \qquad i , j = 1,2,\ldots, n$$

وتوجد طريقة مبسطة لحل منظومة التخصيص بدلاً من استخدام برنامج النقل الخطى أو برنامج البرمجة الخطية، ويعرف بالطريقة الهنغارية، التى تستعمل جدول التكلفة المراد

تصغيرها. ويمكن شرح هذه الطريقة بمثال عددى بسيط. نفترض وجود 4 مشغولات يمكن تشغيلها بواسطة 4عمال ذوى مهارات متباينة فى أزمنة تشغيل مختلفة. والجدول التالى يبين أزمنة تشغيل المشغولات بواسطة العمال بالساعة.

	1	2	3	4
A	5	6	8	7
B	10	12	11	7
C	10	8	13	6
D	8	7	4	3

ويمكن تلخيص الطريقة الهنغارية، والتى تضمن الحصول على الحل الأمثل لمنظومة التخصيص، على النحو التالى:

إجراء الخطوة الأولى. نطرح أصغر رقم فى كل صف من باقى أرقام نفس الصف فى حالة عدم وجود أصفار فى الأعمدة أو الصفوف، فيتكوّن جدول جديد بالأرقام الجديدة.

	1	2	3	4
A	0	1	3	2
B	3	5	4	0
C	4	2	7	0
D	5	4	1	0

إجراء الخطوة الثانية. نطرح أصغر رقم فى كل عمود من باقى أرقام نفس العمود فى حالة عدم وجود أصفار فى الأعمدة أو الصفوف، فيتكون جدول جديد بالأرقام الجديدة.

	1	2	3	4
A	0	0	2	2
B	3	4	3	0
C	4	1	6	0
D	0	3	0	0

إجراء الخطوة الثالثة. نغطى جميع الصفوف أو الأعمدة التى بها أصفاراً . أما فى حالة عدم وجود أصفار فى الأعمدة والصفوف ، فإنه يضاف أقل رقم مكشوف فى الجدول إلى أرقام التقاطع ، ويطرح هذا الرقم الأقل من الأرقام المكشوفة ، وذلك على النحو التالى :

	1	2	3	4
A	0	0	2	2
B	3	4	3	0
C	4	(1)	6	0
D	0	3	0	0

علمًا بأن (1) هو أصغر عدد مكشوف فى الجدول. ويصبح الجدول المعدل بعد تعديله على النحو التالى :

	1	2	3	4
A	0	0	2	3
B	2	3	2	0
C	3	0	5	0
D	5	3	0	1

وحيث إن هذا الجدول ليس به أصفار كافية فى كل عمود وكل صف ، تعاد الخطوة الثالثة بتغطية الأعمدة أو الصفوف التى بها أصفار ، ثم يضاف أقل رقم مكشوف فى الجدول إلى أرقام التقاطع ، وطرح نفس الرقم من الأرقام المكشوفة ، فينتج الجدول التالى :

	1	2	3	4
A	0	0	2	3
B	(2)	3	(2)	0
C	3	0	5	0
D	5	3	0	1

علما بأن ② هو أصغر عدد مكشوف فى الجدول. ويصبح الجدول المعدل بعد تعديله على النحو التالى:

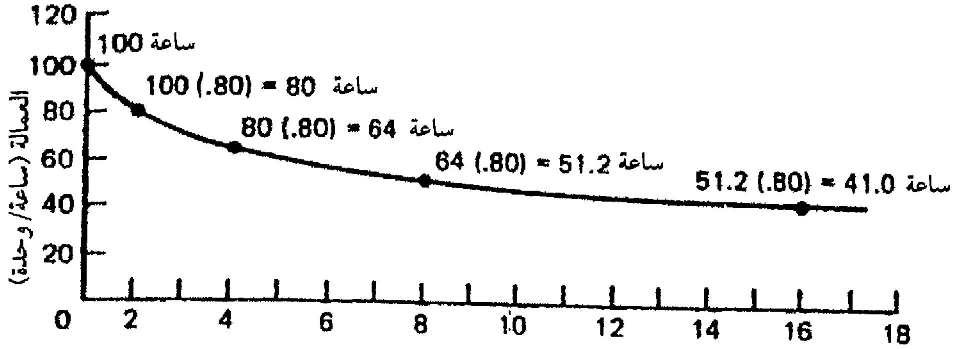
	1	2	3	4
A	[0]	2	2	5
B	0	3	0	[0]
C	1	[0]	3	0
D	5	5	[0]	3

وهذا يعنى أنه يمكن تخصيص المشغولة A للعامل رقم (1)، والمشغولة B للعامل رقم (4)، والمشغولة C للعامل رقم (2)، والمشغولة D للعامل رقم (3)، بإجمالى تكلفة (5 + 7 + 8 + 4 = 24) أى 24 ساعة، وهو الحل الأمثل.

نموذج تحديد العمالة:

يُعَدّ منحنى التعلم من الأساليب البسيطة التى تساعد على تخفيض وقت أداء كل وحدة فى عدة أنشطة، مع مضاعفة الإنتاجية، وتناقص عدد ساعات العمل اللازمة لإنتاج منتج معين بنسبة مئوية ثابتة، بالمقارنة بعدد ساعات العمل الفعلية لإنتاج المنتج بعينه. فعندما يزيد عدد مرات عمل معين، يحدث تحسين فى تطوير المهارات الشخصية، بالإضافة إلى عوامل أخرى مثل أفضل تنظيم للعمل، وتحسين الطرق، وتطوير بيئة العمل.

وتُعَدّ المعلومات الناتجة من منحنى التعلم مفيدة فى تخطيط وجدولة العمل. وتعتمد درجة التحسينات على العمل المؤدَّى، وهو عادة ما يُعبَّر عنه بنسبة مئوية للوقت الذى تأخذه وحدة واحدة من منتج لإنهائها، إذ تمثل مضاعفة للنواتج. فمثلاً إذا تبين نشاط معين 80% منحنى تعلم، ويحتاج 100 ساعة لأول وحدة، فثانى وحدة ستحتاج إلى 80 ساعة، ورابع وحدة ستحتاج إلى 64 ساعة، وثامن وحدة ستحتاج إلى 51.2 ساعة، وهكذا، كما هو موضح فى الشكل رقم (11 - 5).



شكل رقم (11 - 5): نسبة 80% منحنى التعلم

والعلاقة بين ساعات العمالة المباشرة المطلوبة لإنتاج الوحدة N للمنتج Y_N، والوقت لإنتاج أول وحدة Y_1 يتبع المنحنى الأسى، وهى على النحو التالى :

$$Y_N = Y_1 \; N^x$$

حيث :

Y_N = وقت إنتاج الوحدة ، $(N = 1, 2, ...)$

N = رقم الوحدة

$x = \dfrac{(\text{Log للتعلم\%})}{\text{Log } 2}$

ويمكن تقديم مثال بسيط لتفهم الفكرة. نفترض أن إنتاج نوع معين من التلفزيونات يتبع 80% منحنى تعلم، ويحتاج 100 ساعة لإنهاء الوحدة الأولى. والمطلوب تقدير الوقت المطلوب للوحدة الرابعة.

$$Y_N = Y N^x = 100\,(4)^x$$

ولما كان

$$x = \frac{\text{Log } 0.80}{\text{Log } 2} = -\,0.322$$

فيمكن حساب Y_4 على النحو التالى :

$$Y_4 = 100\,(4)^{-0.322} = \frac{100}{4^{0.322}} = 64 \text{ ساعة}$$

ومن الجدير بالذكر، أن منحنى التعلم للحالة الأسية يصبح خطًا مستقيمًا على ورق الرسم البيانى Log - Log . ويمكن الرجوع إلى الجدول رقم (A - 08) لنسب معاملات منحنى التعلم فى الملحق الإحصائى «جداول رياضية وإحصائية». ولاستعمال هذا الجدول، يترجم رقم الوحدة المرغوب فيه إلى نسبة قاعدة الوحدة بوقت معين ومعروف، وهى على النحو التالى :

$$\text{قاعدة الوحدة } (\%) = \left(\frac{\text{رقم الوحدة المرغوب فيه}}{\text{رقم الوحدة المعروف}} \right)$$

ويقرأ من الجدول معامل التعلم، وهو الرقم الذى يقابل نسبة قاعدة الوحدة (الصف)، مع نسبة التعلم المعطاة (العمود). ويمكن حساب الوقت لإنتاج الوحدة Y_N المطلوبة على النحو التالى :

$$Y_N = Y_B \ L$$

حيث إن Y_B هو وقت قاعدة الوحدة، و L هو معامل التعلم. ولتوضيح الفكرة، نقدم مثالا عدديًا نفترض أن المكون من العمالة اليدوية لبناء سفينة يحتاج إلى 12,000 عامل يوم للمشروع الأول. ويوجد أمر شغل بسفينتين بالإضافة إلى السفينة الأولى. وبفرض تطبيق 90% منحنى التعلم (Coefficient of Learning Curve, %)، يمكن حساب عدد العمالة اليدوية المتوقعة لبناء السفينة الثالثة .

$$\text{قاعدة الوحدة } (\%) = \left(\frac{\text{وحدة رقم } (3)}{\text{وحدة رقم } (1)} \right) = \frac{3}{1} = \% \ 3.00 = \% \ 300$$

ومن الجدول نحصل على المقابل بين 300% و 90%، وهو 0.8492، فيصبح :

$$\text{عدد العمال يوم } (Y_B) = (Y_3) (L)$$

$$= (12,000) (0.8492) = 10,190 \text{ عامل يوم}$$

وبذلك يمكن اتخاذ القرارات المناسبة .

تماريـــن تنظيـم المنظومات

آثرت أن أنتقى مجموعة من التمارين العملية والتطبيقية فى مجال تنظيم المنظومات، حتى يمكن تفهم إجراءات معالجة مشكلات التنظيم، واستيعاب أفكار تشكيل التنظيم، وتدارس أصول تمثيل نماذج التنظيم، وهى على النحو التالى :

نموذج حجم الشراء:

5-01 شركة تعمل فى توزيع أحد المنتجات بمعدل 200,000 وحدة فى السنة، وتتكلف 75 جنيه لعمل كل طلبية تطلب من المورد، ويتكلف التخزين LE 0.1 لكل وحدة فى السنة، وسعر الشراء LE 0.8 لكل وحدة، ويتكلف عائد المال المستثمر فى عمليات الشراء والتخزين فائدة 12% فى السنة على أساس متوسط حجم المخزون.

1 - أوجد الحجم الاقتصادى لكل طلبية.

2 - أوجد التكلفة السنوية للمخزون.

3 - أوجـد الفترة الزمنية بين كل طلبيتـين، مع العلم بأن حساب العام يقـوم على أساس 250 يومًا.

5-02 تنبأت شركة تجارية تعمل فى مجال توزيع البويات بمبيعات سنوية لبوية خاصة للسيارات من منتج في حدود 8,000 جالون. ويتكلف LE 150 لعمل كل طلبية من تاجر الجملة. وتقوم الشركة بتخزين البويات فى مخازنها الخاصة، والتكلفة لتخزين الجالـون فى السنة LE 0.21 على أسـاس أقصى كـمية تخزيـن. وثمـن شراء هذا النـوع مـن البويات LE 3.15 للجالون الواحد. ويتكلف رأس المال المستخدم فى شراء وتخزين هذه البوية فائدة سنوية مقدارها 12%.

1 - أوجد الحجم الاقتصادى لكل طلبية .

2 - أوجد عدد الطلبيات التى تطلب فى السنة .

نموذج حجم التصنيع:

5-03 يقوم أحد المصانع بتصنيع مفاتيح كهربائية تستعمل فى ماكينات الغسيل اليدوية التى يتم تجميعها فى المصنع . وتنتج هذه المفاتيح بمعدل 4,000 وحدة يوميًا . ويحتاج المصنع 182,000 وحدة سنويًا . وتصل تكلفة إعداد وتجهيز الماكينات المنتجة لهذا المفتاح الكهربائى LE 300 لكل مرحلة إنتاجية (Production Run) . ويعمل المصنع 260 يومًا فى السنة . ويتكلف رأس المال المستخدم فى تصنيع وتخزين هذه المفاتيح فائدة سنوية مقدارها 10% .

1 - أوجد الحجم الاقتصادى لكل مرحلة إنتاجية .

2 - أوجد عدد المراحل الإنتاجية التى يجب جدولتها فى السنة .

5-04 تنقل إحدى شركات البترول 400,000 كيلوجرام من زيت المحركات بالسكك الحديدية من السويس إلى القاهرة . وتتراوح أحجام الشحنات من 24,000 إلى 100,000 كيلوجرام . وتتكلف عملية إعداد الشحنة من تأجير تنك السكك الحديد وملئه LE 60 . ومتوسط سعر زيت المحركات LE 0.10 للكيلوجرام . أما التكاليف الكلية الناتجة عن فوائد رأس المال وتكلفة التخزين فهى 10% فى السنة . وتتراوح أسعار الشحن على أساس أقل وزن للشحنة وهى على النحو التالى :

سعر الشحن بالجنيه لكل 100 كيلوجرام	وزن أقل شحنة بالكليوجرام	سعر الشحن بالجنيه لكل 100 كيلوجرام	وزن أقل شحنة بالكليوجرام
0.91	60,000	1.18	24,000
0.86	80,000	1.05	30,000
0.84	100,000	0.97	40,000
0.83	120,000	0.93	50,000

1 - أوجد الكمية المثلى لشحن الطلبية .

2 - أوجد عدد الطلبيات فى السنة .

3 - أوجد أقل تكلفة للطلبية .

4 - احسب التكلفة الكلية .

نموذج سعة المحطات:

5-05 تقوم إحدى الورش الميكانيكية بإصلاح الأجهزة المنزلية . ويوجد عامل صيانة لتلقى الأجهزة لإصلاحها على أساس الجهاز الذى يصل أولاً ، يتم إصلاحه أولاً . ويتبع وصول الأجهزة توزيعة بواسون الاحتمالية بمعدل وصول $\lambda = 3$ أجهزة فى اليوم. أما وقت الخدمة ، فيتبع التوزيعة الاحتمالية الأسية بمعدل خدمة $\mu = 6$ أجهزة فى اليوم، مع العلم بأن مصدر وصول الأجهزة ما لا نهاية ، وأنه يوجد مكان كبير لتخزين الأجهزة قبل إصلاحها

1 - أوجد مدى الاستفادة من المنظومة .

2 - أوجد متوسط الوقت الذى تقضيه الوحدة فى المنظومة .

3 - أوجد متوسط عدد الوحدات فى المنظومة .

4 - أوجد متوسط الوقت الذى تقضيه الوحدة فى الصف .

5 - أوجد احتمال وجود وحدتين فى المنظومة .

6 - أوجد متوسط عدد الوحدات فى الصف .

7 - أوجد نسبة الوقت الضائع .

5-06 يستقبل أحد المراكز الطبية المرضى بمعدل وصول $\lambda = 6$ مرضى/ ساعة ويتبع توزيعة بواسون الاحتمالية . ويتبع وقت علاج المريض التوزيعة الاحتمالية الأسِّية بمعدل خدمة $\mu = 7.5$ مريض / ساعة .

1 - أوجد متوسط الوقت الذى ينتظره فى الصف .

2 - أوجد متوسط عدد المرضى فى الصف .

3 - أوجد نسبة الوقت الضائع .

5-07 يقوم مكتب خدمة اجتماعية فى إحدى المدن بدراسة حالة العملاء القادمين لتلقى إرشادات عن المساكن أو بتقديم مساعدات من أغذية أو خلافه. ويفحص المشرف الاجتماعى الموجود مستندات كل متقدم على حدة، ليقدم له الخدمة المطلوبة. وتتبع هذه الخدمة التوزيعة الاحتمالية الأسية بمتوسط 15 دقيقة لكل عميل، أى بمعدل خدمة $\mu = 4$ عميل / ساعة. ويتبع وصول العملاء توزيعة بواسون الاحتمالية بمعدل وصول $\lambda = 3$ عميل / ساعة.

1 - أوجد احتمال عدم وجود عملاء فى المنظومة.

2 - أوجد احتمال وجود عميلين فى المنظومة.

3 - أوجد متوسط عدد العملاء فى المنظومة.

4 - أوجد متوسط الوقت الذى يقضيه العميل فى المنظومة.

5 - أوجد متوسط عدد العملاء فى الصف.

5-08 تقوم إحدى الورش الإلكترونية بصيانة الأجهزة التليفزيونية على مدار 24 ساعة. تتلقى الورشة الأجهزة المطلوبة صيانتها وتخزينها فى مخزن كبير، ويقوم بإصلاحها على أساس من يصل أولاً يتم إصلاحه أولاً. ويتبع وصول الأجهزة توزيعة بواسون الاحتمالية بمعدل وصول $\lambda = 30$ جهاز/ يوم، ويقوم العاملين بأمور الصيانة بإصلاح 35 جهاز/ يوم على الأكثر.

1 - أوجد عدد الأجهزة فى المتوسط التى توجد فى الورشة فى أى وقت من الأوقات.

2 - أوجد متوسط عدد الساعات التى يضطر العميل لانتظارها قبل بدء العمل فى إصلاح جهازه التليفزيونى.

نموذج سعة الصفوف:

5 -09 تغيرت إدارة مكتب الخدمة الاجتماعية الذى درس فى التمرين السابق. ونظراً لانتظار العملاء فى مكان ضيق، الذى يجلب الضوضاء، مما ينتج عنه إزعاج القائم على الدراسة، وعدم إمكانه القيام بعمله فى سرية كاملة. فقد اقتصرت الإدارة الجديدة على وجود 5 عملاء على الأكثر فى المنظومة، وباقى البيانات كما فى التمرين السابق.

1 - أوجد احتمال وجود عميلين فى المكتب فى وقت واحد.

2 - أوجد احتمال وجود 5 عملاء فى المكتب فى وقت واحد.

3 - أوجد متوسط عدد العملاء فى المنظومة.

4 - أوجد متوسط عدد العملاء فى الصف.

5 - أوجد متوسط الوقت الذى يقضيه العميل فى الصف.

6 - أوجد متوسط الوقت الذى يقضيه العميل فى المنظومة.

نموذج تخصيص العمالة:

5-10 يقوم مهندس التخطيط بإحدى الشركات الإنتاجية بجدولة 4 مشغولات يوميًا على 4 ماكينات متوافرة. ومن الخبرة السابقة، يحدد المهندس أوقات التشغيل للمشغولات على الماكينات بالدقائق كالآتى، نظرًا لدقة المشغولات وغلو قيمة الماكينات:

المشغولات	الماكينات 1	2	3	4
A	2	6	3	5
B	1	2	5	3
C	4	3	1	5
D	2	4	1	5

أوجد التوزيع الأمثل للمشغولات على الماكينات، بحيث يكون إجمالى وقت التشغيل أقل ما يمكن.

5-11 وضعت إحدى الشركات التجارية خطة لتوزيع منتج معين فى منطقة سكنية جديدة. وقد تم تقسيم المنطقة إلى 4 ضواح، كما تم اختيار 5 ممثلين للمبيعات لتغطية التسويق فى هذه الضواحى. ولما كانت كل ضاحية تنفرد بخواص وميزات وصعوبات معينة، فقد اختلفت نواتج المبيعات وبالتالى الأرباح لكل ممثل مبيعات وفى كل ضاحية. والأرباح المتوقعة من المبيعات موضحة فى الجدول التالى:

ممثلو المبيعات	ضواحى المنطقة الجديدة 1	2	3	4
A	56,000	38,000	64,000	24,000
B	32,000	34,000	36,000	36,000
C	48,000	32,000	44,000	38,000
D	46,000	22,000	32,000	36,000
E	42,000	32,000	42,000	32,000

أوجد الاختيار الأمثل لتوزيع ممثلى المبيعات على ضواحى المنطقة .

5-12 شركة توزع الجرائد فى 4 أحياء بالقاهرة بواسطة مجموعة من 4 عـمـال . و
أسند عامل واحد لكل حى من الأحياء ، ونظراً لطموح بعض العمال ، فإن التوزيع يتغير
الحى حسب طموح العمال ، وذلك على النحو التالى :

الأحيـــــــاء	المبيعات المتوقعة فى السنة	العمـــال	نسبة المبيعات لكل عامل
I	LE 30,000	A	70%
II	LE 25,000	B	50%
III	LE 20,000	C	50%
IV	LE 15,000	D	40%

أوجد الجدولة المثلى لتوزيع العمال على الأحياء ، مستخدماً نموذج التخصيص الخطى .

5-13 شركة حدّدت ميزانية سنوية لأعمال الدعاية . فوجدت أن أى وسيلة من وسائ
الدعاية تنتج عائداً متناقصاً (Diminishing Return) ، ويصل العائد صفراً بعد 3 شهو

من بدء الإعلان. وتوضح النسب المتوقعة فى المبيعات حسب وسائل الدعاية على النحو التالى :

وسائل الدعاية	فصل الربيع	فصل الصيف	فصل الخريف	فصل الشتاء
الجرائد	% 8	%26	%17	%11
الراديو	%13	%28	%10	%26
التليفزيون	%38	%19	% 4	%15
البريد	%19	%26	%24	%10

أوجد الجدولة المثلى لتوزيع أساليب الدعاية على مختلف فصول السنة.

نموذج تحديد العمالة:

5-14 أعدّ مدير العمليات فى سلسلة فنادق دولية ميزانية تكلفة العمالة المطلوبة للقيام بعدد من المؤتمرات فى العام القادم. وقد تم تقدير احتياج المؤتمر الأول إلى 300 عامل ساعة على أساس LE 12 فى الساعة. بفرض أن العمل يتبع 78% منحنى التعلم، أوجد تكلفة العمالة المقدّرة للمؤتمر الثامن.

5-15 يقوم أحد المصانع الحديثة بإنتاج «فريزر» منزلى. وقد مرّ بفترة تجارب أولية فى التصنيع، وتوصّل إلى 88% منحنى التعلم. وقد احتاج تجميع الوحدة رقم 200 إلى 1.40 ساعة. المطلوب تقدير الوقت المقارن للوحدات التالية: الوحدة 100^{th} و500^{th} و1000^{th} و 5000^{th}.

الباب السادس
نمذجة تحليل المنظومات

الفصل الأول: نماذج تحليل العمل

الفصل الثاني: نماذج تحليل الصيانة

الفصل الثالث: نماذج تحليل الإنتاجية

الباب السادس
نمذجة تحليل المنظومات

وظيفة التحليل تُعَدّ من أهم وظائف الإدارة الحديثة، وهى تشمل عدّة مهام أهمها: تحليل العمل، وتحليل الصيانة، وتحليل الإنتاجية. وتُعَدّ هذه المهام من الوظائف الفرعية التى تقوم بها الإدارة المتوسطة، كما أنها تُعَدّ من المقومات المساعدة كمدخلات فى المنظومة الإنتاجية.

وتحليل العمل ـ كعنصر قياسى فى المنظومة الإنتاجية ـ يتضمن توصيف العمل المراد عمله، وكيفيه عمله سواء بالمعدات والعمالة أو بإحداهما فقط، ومكان عمله سواء كان فى مراكز التشغيل أو على خطوط التجميع، ووقت عمله حسب جدولة المشغولات التى تتطلب قياس العمل لمعرفة الوقت الذى يتم فيه التشغيل.

وتحليل الصيانة ـ كعنصر قياسى فى المنظومة الإنتاجية ـ يتضمن وضع سياسات محدَّدة لإجراء الإصلاحات والعمرات للمعدات على اختلاف نوعياتها، وكذا وضع البرامج اللازمة للصيانات الوقائية. ويتطلب ذلك معلومات وافية لوضع هذه السياسات.

وتحليل الإنتاجية ـ كعنصر قياسى فى المنظومة الإنتاجية ـ يتضمن معايير تُحدَّد مسبقًا، إذ تقاس كل فترة زمنية للتأكد من فاعلية وكفاءة المنظومة. ومستوى الإنتاجية تُحدَّد بمدى قدرة الإدارة على تحقيق الأهداف، كما تُحدَّد بمدى إمكانات الإدارة فى إنجاز الأعمال المطلوبة.

ويختص هذا الباب بنماذج تحليل العمل، وتحليل الصيانة، وتحليل الإنتاجية، بهدف صنع القرارات الرشيدة فى المنظومات الإنتاجية للوصول إلى الأهداف الرئيسية.

الفصل الأول: نماذج تحليل العمل

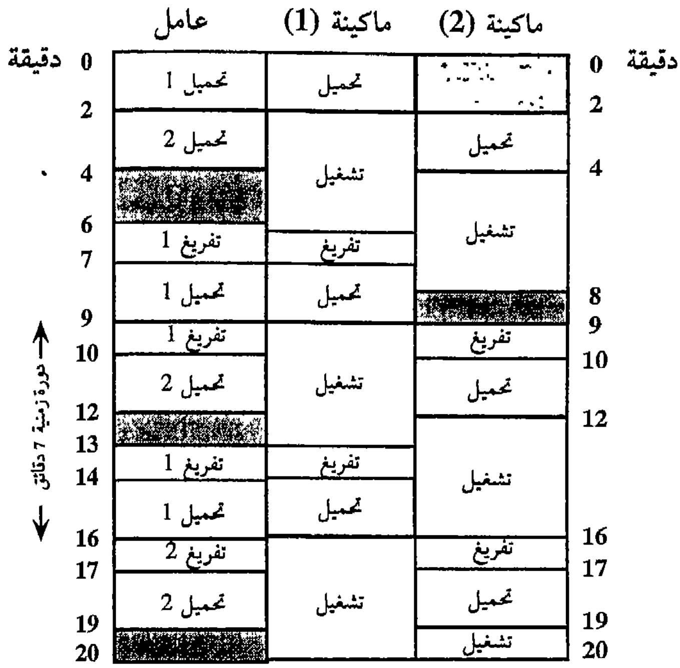
المنظومات الإنتاجية قلّما تخلو من حاجتها إلى اتخاذ قرارات خاصة بشأن تحديد سياسات معينة للعمل، ويمثل العمل العنصر الإيجابى فى المنظومة الإنتاجية. ودراسة العمل تهدف إلى توصيف العمل المراد تنفيذه، وكيفية تنفيذه، وموعد تنفيذه، ومكان تنفيذه. وقد قام آدم سميث عام 1776 بدراسة ظاهرة التخصص وتجزئه العمل، وارتبط هذا المفهوم بزيادة الإنتاجية نتيجة لتخصص الفرد فى عمل واحد يؤديه لفترات طويلة، فيتقنه تمام الإتقان، فتزداد إنتاجيته، ويرتقى بمستوى التطبيق التكنولوجى. هذا بالإضافة إلى أن هذا النظام يؤدى إلى توفير الوقت الذى كان يضيع نتيجة انتقال العامل من عمل إلى آخر.

وقد ركزت الأساليب التقليدية على كفاءة الأداء الفنى للعمل، أو الرضاء السلوكى للموظفين، أو كلاهما معًا. وقد أرسى فريدريك تيلور عام 1890 تطبيق قواعد الأسلوب العلمى فى مجالات دراسة تنفيذ طرق العمل، وتحليل عينات العمل، وتحسين أسلوب العمل، ووقت أداء العمل. وقد مهدت هذه الدراسات إلى تحسين الإنتاجية. وركزت المجهودات الإدارية على إدارة العمل من تصميم ودراسة وقياس.

نموذج دراسة العمل:

·دراسة العمل تتضمن تحليل الأعمال الحالية والمستحدثة، بهدف تحسين طرق تنفيذ العمل، وهى: اختيار عناصر العمل المطلوب دراستها، وتسجيل الطريقة الحالية المطلوب تحليلها، وتطوير الطريقة الحالية المطلوب تحسينها، ثم تطبيق الطريقة المحسنة ومتابعتها. ومن الجدير بالذكر أن الأعمال التى تحوى عمالة يدوية عالية فيها متسع للتحسينات. ومن الطرق المستخدمة فى تحليل العمل: خريطة عملية التدفق، وخريطة نشاط العمال المرتبطة بالماكينات.

ولتوضيح هذا الأسلوب نقدم مثالاً عدديًا بسيطًا. نفترض أن شركة وطنية لتصنيع إطارات السيارات تملك مجموعة كبيرة من المكابس التى يقدر زمن تشغيلها الأتوماتيكى 4 دقائق. ويقوم العامل بتحميل الماكينة فى دقيقتين، وتفريغها فى دقيقة واحدة. وتكلفة العامل LE 8 فى الساعة، وتكلفة الماكينة LE 20 فى الساعة. والمطلوب تمثيل هذه العملية فى الشكل رقم (01 - 6) بخريطة تمثل عاملاً واحدًا مشرفًا على ماكينتين متشابهتين.



شكل رقم (01 - 6):خريطة العامل المشرف على ماكينتين

ويمكن حساب مختلف المعايير على النحو التالى:

* طول الدورة الزمنية = 7 دقائق.
* طول الوقت الضائع للعامل = دقيقة واحدة فى كل دورة.
* طول الوقت الضائع للماكينات = لا يوجد فى حالة استقرار عمل الماكينتين.

* تكلفة الساعة الإجمالية = تكلفة العامل + تكلفة الماكينتين.

= (LE 8 / ساعة) + (2 ماكينة) (LE 20/ ساعة)

= LE 48 / ساعة

* تكلفة الدورة الإجمالية = $\left(\frac{\text{LE 48 / ساعة}}{\text{60 دقيقة / ساعة}}\right)$ (7 دقائق/ دورة)

= LE 5.60 / دورة.

* تكلفة الوقت الضائع = $\left(\text{دقيقة واحدة/ دورة}\right)\left(\frac{\text{60 دقيقة / ساعة}}{\text{7 دقائق / دورة}}\right)\left(\frac{\text{LE 8 / ساعة}}{\text{60 دقيقة}}\right)$

= LE 1.14 / ساعة

وبذلك يمكن اتخاذ القرارات المناسبة الخاصة بدراسة العمل.

نموذج قياس العمل:

قياس العمل ـ كأسلوب علمي ـ يهدف إلى تحديد الوقت المسموح به لأداء العمليات، وتقويم الجهد البشرى المبذول فى الأداء. ويستفاد بقياس العمل فى قياس الطاقة الفعلية اللازمة للإنتاج، وتحديد نسب الانتفاع من العمال والماكينات، وإظهار وقت العمل المنتج والضائع، وتحديد نقاط الاختناق على خطوط الإنتاج، وحساب عدد الماكينات التى يستطيع العامل الواحد الإشراف عليها، ومقارنة الطرق البديلة المقترحة لأداء العمل واختيار الأنسب. كما يساعد قياس العمل فى تقدير الأزمنة النمطية للعمليات الإنتاجية التى تستخدم فى تحديد الوقت النمطى اللازم لإنتاج منتج جديد، واعتباره كأساس لوضع نظم الحوافز والأجور التشجيعية، وأساس لمراقبة تكاليف العمالة، وأساس لتحديد ومراقبة التكاليف المعيارية.

وهناك عدة طرق لقياس العمل، كل منها يتناسب مع نوع وطبيعة العمل المراد قياسه، ومنها: تقويم زمن الحركات، أو تجميع أزمنة العناصر من إحصائيات العمليات المتشابهة، أو تقدير تحليلى للزمن، أو استخدام طريقة أخذ العينات.

وقياس العمل بطريقة أخذ العينات (Work Sampling)، الذى يعرف بتحديد نسب الانتفاع والأعطال (Ratio Delay)، هو أسلوب إحصائى لقياس العمل على أساس رصد

عدد كبير من التسجيلات اللحظية للعمال أو الماكينات فى فترات زمنية محددة، بحيث يمثل كل من هذه التسجيلات ما يحدث تمامًا فى تلك اللحظة. وعلى هذا تكون نسبة عدد الملاحظات المسجلة لنشاط معين إلى مجموع الملاحظات الكلية مساوية لنسبة الوقت المستغرق فى تأدية هذا النشاط إلى وقت العمل الكلى.

وتعتمد طريقة أخذ العينات أساسًا على قوانين الاحتمالات والتوزيعات الاحتمالية فى علم الإحصاء. فالعينات (Samples) التى تؤخذ من مجتمع ما (Population) بطريقة عشوائية يكون لها نفس خواص وصفات هذا المجتمع بدرجة دقة معينة. وتزداد نسبة تمثيل كل من هذه العينات للمجتمع الكبير بعشوائية سحب العينة، وكبر حجم العينة.

ويمكن توضيح استخدام نموذج قياس العمل بمثال عددى لتحديد حجم العينة (Sample Size)، وحساب الوقت الطبيعى (Normal Time)، وتقدير الوقت النمطى (Standard Time). نفترض أن إدارة الحاسب بإحدى المكاتب الاستشارية قدّرت أن المشغل يعمل 0.80 من الوقت. والمطلوب إجراء دراسة أخذ عينات بدقة 4%، ودرجة ثقة الإدارة تصل إلى 95%. ويمكن الرجوع إلى الجدول رقم (A - 09) لمساحات تحت التوزيعة الاحتمالية الطبيعية فى الملحق الإحصائى «جداول رياضية وإحصائية» لمعرفة المقابل لدرجة الثقة فيحسب حجم العينة على النحو التالى:

حجم العينة = (مربع الانحراف المعيارى لقيم النتائج التى تم الحصول عليها لدرجة ثقة معينة) (النسبة المئوية للوقت الضائع) (النسبة المئوية لوقت العامل) ÷ أقصى خطإ فى مستوى دقة النتائج

$$n = \frac{(1-p)\ (p)\ Z^2}{e^2} = \frac{(0.80)\ (0.20)\ (1.96)^2}{(0.04)^2} = 384$$

ويفضل سحب العينات عشوائيًا من جدول الأرقام العشوائية. ويمكن الرجوع إلى الجدول (A - 10) لأرقام عشوائية فى الملحق الإحصائى «جداول رياضية وإحصائية».

ويراعى فى قياس العمل، الأخذ فى الحسبان معدل أداء العامل (Performance Rate, PR)، وعامل المسموحات (Allowance Factor, AF)، لحساب الوقت الطبيعى (Normal Time, NT)، والوقت النمطى (Standard Time, ST). والمسموحات تشمل عادة الوقت الشخصى الذى يقضيه فى دورة المياه مثلاً (Personal Time, PT) + وقت الراحة من المجهود الذى يقوم به أثناء العمل (Rest Break, RB) + وقت التأخير الذى لا يمكن تفاديه أو تجنبه (Delay Time, DT).

ويمكن توضيح العلاقة الرياضية بين وقت العمل الطبيعي (NT)، ومعامل المسموحات (AF)، ووقت العمل النمطي (ST)، بتقديم مثال عددي عن دراسة قياس العمل التي أجريت في مطعم لتوصيل الطلبات إلى المنازل. فقد قدمت الدراسة هذه البيانات: طول الدورة الزمنية 3.4 دقيقة، فمعدل أداء العامل 85%، وإجمالي وقت المسموحات 48 دقيقة (10 دقائق وقت شخصي + 15 دقيقة وقت راحة + 23 دقيقة وقت تأخير)، فتكون الحسابات على النحو التالي:

* وقت العمل الطبيعي = (طول الدورة الزمنية) (معامل أداء العامل)

$$NT = CT \times PR$$

$$= 3.4 \times 0.85$$

= 2.89 دقيقة

* وقت المسموحات = نسبة من الوقت الكلي ($\%A_{total}$)

$$\% A_{total} = \frac{\text{إجمالي وقت المسموحات في اليوم}}{\text{(عدد الساعات في اليوم) (عدد الدقائق في الساعة)}}$$

$$= \frac{10 + 15 + 23}{\text{(8 ساعات/ يوم) (60 دقيقة/ ساعة)}}$$

$$= \frac{48}{480} = 0.10 = \%10$$

* وقت المسموحات = نسبة من وقت العمل ($\%A_{work}$)

$$\% A_{work} = \frac{\text{إجمالي وقت المسموحات في اليوم}}{\text{(عدد الدقائق في اليوم) - (إجمالي وقت المسموحات)}}$$

$$= \frac{10 + 15 + 23}{480 - 48} = \frac{48}{432}$$

$$= 0.111 = \%11.1$$

* وقت العمل النمطي = (وقت العمل الطبيعي) (معامل المسموحات)

$$ST = NT \times AF$$

$$= 2.89 \times 1.111$$

= 3.21 دقيقة

حيث إنه يمكن حساب المسموحات (AF) على أساس $\%A_{\text{Total}}$ أو A_{work}، وذلك على النحو التالى :

$$AF = \frac{1}{\% A_{\text{Total}} - 1} = \frac{1}{(0.10 - 1)} = 0.11$$

أو

$$AF = \% A_{\text{work}} + 1 = 0.111 + 1 = 1.111$$

الذى ساعد على حساب وقت العمل النمطى .

نفترض إجراء دراسة أخذ عينات على موظفين يعملون فى مكتب اتصالات ، حيث لوحظ أن عاملة التليفون تعمل 80% من إجمالى الوقت بمعدل أداء 100%. وقد أجرت عاملة التليفون 200 مكالمة خلال 8 ساعات يوميًا. ويسمح المكتب بحوالى 10% من الوقت الكلى فى العمل لقضاء الحاجة . ويمكن حساب الوقت الطبيعى والوقت النمطى على النحو التالى :

$$\text{طول الوقت الطبيعى} = \frac{\left(\text{الوقت الكلى بالدقيقة}\right)\left(\text{نسبة الوقت المنتفع به}\right)\left(\text{نسبة متوسط معدل الأداء}\right)}{\text{إجمالى عدد الوحدات المنتهية}}$$

$$= \frac{(1.00)\ (0.80)\ (480)}{200}$$

= 1.92 دقيقة/ عميل

$$\text{طول الوقت النمطى} = \left(\text{الوقت الطبيعى}\right)\left(\text{معامل مسموح للاحتياجات الشخصية}\right)$$

$$= (1.92)\ \frac{1}{(0.10 - 1)}$$

= 2.13 دقيقة/ عميل

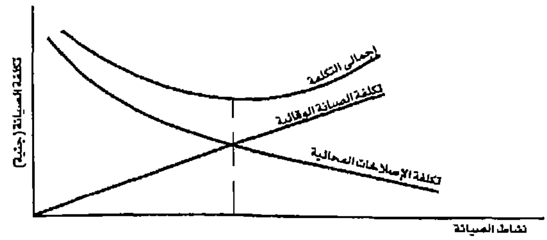
وبذلك يمكن اتخاذ القرارات المناسبة الخاصة بقياس العمل .

الفصل الثانى: نماذج تحليل الصيانة

المنظومات الإنتاجية قلّما تخلو من حاجتها إلى اتخاذ قرارات بشأن تحديد سياسات معينة للصيانات الوقائية، وسياسات أخرى للإصلاحات فور حدوث الأعطال وتوقف الإنتاج. وعادة ما تؤدى الماكينات الإنتاجية فى بادئ الأمر مهمتها بمعدل أداء معين ودقة إنتاج محددة. ولكن بمرور الزمن تقل فاعلية الماكينة بسبب التقادم أو أسباب أخرى، مما يتطلب وجوب إحلال الماكينة (Machine Replacement) لتزايد مرات عطل الماكينة، أو تزايد توقف الإنتاج، أو زيادة تكلفة الإصلاح، أو زيادة تكلفة الصيانة الوقائية الدورية، أو نقص معدلات الإنتاج، أو نقص مستوى جودة المنتج، أو غيرها.

والصيانات الوقائية (Preventive Maintenance) **هى ضمان لعدم تعطل الماكينة** فجائيًا، وبالتالى تقليل عدد العمرات، وتخفيض **تكلفة الإصلاحات**، وإطالة عمر الماكينة، نتيجة تفادى التآكل فى الأجزاء المتحركة، وتقليل احتمالات الكسر الفجائى لأجزاء الماكينة. وتشمل الصيانة الوقائية عمليات التفتيش والتشحيم والتزييت والضبط، مع محاولة اكتشاف الأعطال المتوقعة فى الماكينة قبل استفحالها، وإجراءات إصلاحات طفيفة لمنع حدوث توقفها. ولنجاح سياسة الصيانة الوقائية، يجب تجهيز سجلات للأصول بمواصفاتها ونوعية ومرات صياناتها، وكذا إعداد جميع البيانات الخاصة بتحديد هذه السياسة، مما يخفض من احتمالات حدوث أعطال.

ويفضل رسم سياسات محددة لتخطيط الصيانات الوقائية والإصلاحات المتوقعة بناء على معلومات وافية، آخذًا فى الاعتبار عنصر التكلفة كما فى الشكل رقم (6 - 02).



شكل رقم (02 - 6): تكلفة عناصر الصيانة

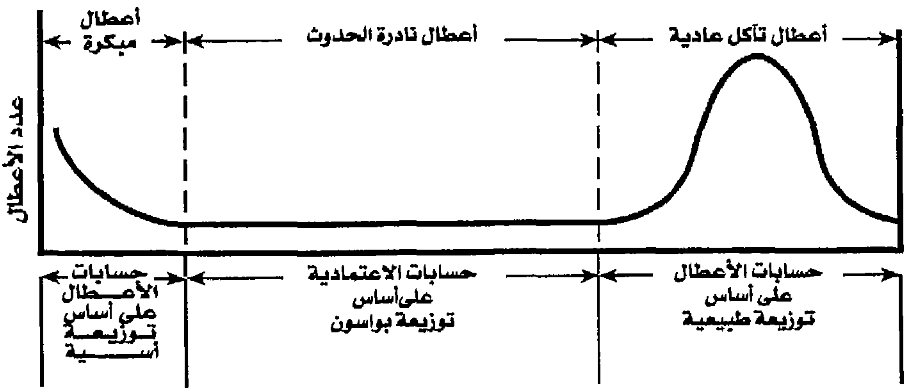
نموذج اعتمادية الماكينات:

اعتمادية الماكينات تعبِّر عن احتمال تشغيل ماكينة لعمليات معينة ، فى بيئة معينة ، لفترة زمنية معينة ، أو عدد معين من الدورات. وأعطال الماكينات يمكن تحليلها فى ثلاثة أنواع كما فى الشكل رقم (03 - 6) وهى على النحو التالى :

* أعطال مبكرة قد تحدث بسبب أخطاء فى نقل الماكينة ، أو فى تركيب الماكينة ، أو فى غيرها. وحدوث هذه الأعطال قد يتبع التوزيعة الاحتمالية الأسِّية السالبة (Negative Exponential Distribution) .

* أعطال نادرة الحدوث طيلة حياة تشغيل الماكينة ، بشرط إجراء الصيانات الوقائية. وحدوث هذه الأعطال قد يتبع توزيعة بواسون الاحتمالية (Poisson Distribution) .

* أعطال متعددة قد تحدث بسبب قدم الماكينة ، وتآكل بعض مكوناتها. وحدوث هذه الأعطال قد يتبع التوزيعة الاحتمالية الطبيعية (Normal Distribution) .



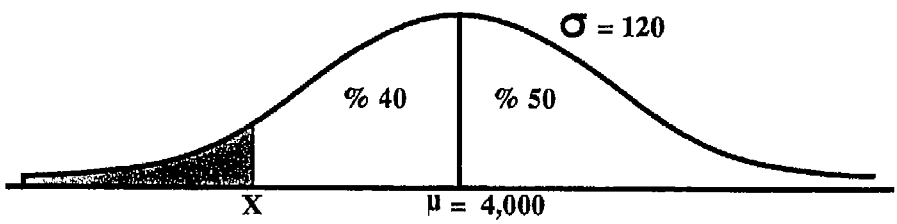
شكل رقم (03 - 6): وقت حياة الماكينة

وتتطلب عملية تحسين الاعتمادية عدة عوامل نذكر منها: تحسين تصميم المكونات، وتبسيط تصميم المنظومة ككل، وتحسين طرق الإنتاج، وتحسين مراقبة الجودة، واختيار المكونات والمنظومة ككل، وتركيب منظومة على التوازى، واستمرارية عمل الصيانات الوقائية.

ونقدم مثالاً مبسطًا لشرح الفكرة. نفترض أن سقف عنبر الإنتاج بشركة وطنية مجهزًا بلمبات الفلورسنت تبلغ 5,000 لمبة، ويتبع تشغيلها توزيعة احتمالية طبيعية. وقد وجدت الإدارة أنه بعد احتراق 10% من لمبات الإضاءة، تأثرت جودة المنتج وإنتاجية العمالة. لذلك اقترحت جدولة الصيانة لكى تتمكن من تغيير جميع اللمبات عندما يحترق 10% منها. والمطلوب تحديد عدد ساعات التشغيل التى عندها يتم جدولة تغيير اللمبات. ويمكن تمثيل حياة اللمبات بالتوزيعة الاحتمالية الطبيعية كما فى الشكل رقم (04 - 6) ويعنى أن 50% من اللمبات لا تزال تعمل عند متوسط حياة اللمبات μ. فتحسب الوقت المبكر x، بحيث لا تزال تعمل بزيادة 40%، أى بإجمالى 90%، وذلك على النحو التالى:

$$x = \mu - Z\sigma = 4{,}000 - (1.28)(120) = 3{,}846 \text{ ساعة}$$

حيث إن Z هى عدد معدلات الانحراف المطلوبة لتشمل 40% وهى 1.28، التى تؤخذ من جدول المساحات الواقعة تحت التوزيعة الاحتمالية الطبيعية، والذى يمكن الرجوع إليه بالجدول رقم (A - 09) فى الملحق الإحصائى «جداول رياضية وإحصائية»، وهو يوضح القيم التى تمثل المساحات تحت منحنى التوزيعة الطبيعية بمتوسط $0 < \mu < Z$.



شكل رقم (04 - 6): توزيعة احتمالية طبيعية تمثل حياة اللمبات

ويراعى ـ عند وجود حالات أخطاء حرجة، أو ماكينات باهظة التكاليف ـ استخدام منظومات تعمل مكوناتها على التوازى (Parallel)، وتحسب اعتمادية مكوناتها على النحو التالى:

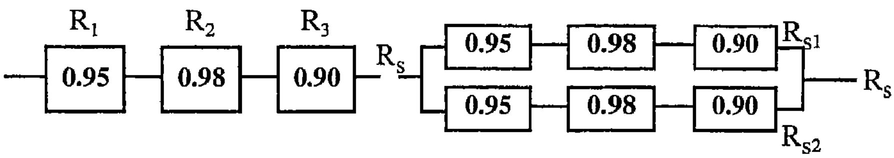
$$R_p = 1 - [(1- R_{s1})\ (1 - R_{s2}) \ ...\ (1- R_{sc})]$$

وتحسب اعتمادية المكونات التى تعمل بالتتابع (Series) على النحو التالى :

$$(R_s) = (R_1)(R_2) \ ...\ (R_n)$$

حيث إن n هى عدد المكونات ، و c هى عدد المنظومات الفرعية .

ويمكن توضيح ذلك بمثال عددى مبسَّط . نفترض وجود منظومة مراقبة محلول حامضى يتكون من دائرة كهربية ذات 3 مكونات تعمل بالتتابع ، واقترحت الإدارة إضافة دائرة كهربية أخرى لتعمل على التوازى . والمطلوب حساب اعتمادية المنظومة المكونة من دائرة كهربية واحدة تعمل على التتابع ؛ وحساب اعتمادية المنظومة المكونة من دائرتين كهربيتين تعملان على التوازى ، واعتمادية كل مكون موضحة فى الشكل رقم (05 - 6) .



شكل رقم (05 - 6): منظومات تعمل على التتابع والتوازى

فقيمة اعتمادية المنظومة بدائرة كهربية ذات مكونات تعمل على التتابع هى :

$$R_s = (R_3)(R_2)(R_1)$$

$$= (0.90)(0.98)(0.95) = 0.84$$

وقيمة اعتمادية المنظومة إذا وضع لها دائرة كهربية إضافية هى :

$$R_p = 1 - [(1 - Rs_1)(1 - Rs_2)]$$

$$= 1 - [(1 - 0.84)(1 - 0.84)] = 0.97$$

بحيث تعمل كل منظومة ذات المكونات الثلاثة على التتابع ، والمنظومتان تعملان على التوازى . فإذا كان معدل الأعطال ثابتًا ، فيمكن حساب اعتمادية المنظومة على النحو التالى :

$$R = e^{-(t/MTBF)}$$

وتعبر MTBF عن اعتمادية المنظومة إذا كان معدل الأعطال ثابتًا فى وقت معين t . أما e فهى قاعدة اللوغاريتم الطبيعى (Natural Algorithm) وقيمتها 2.7183 . ويمكن الرجوع إلى الجدول رقم (A - 01) لأعداد لوغاريتمية فى الملحق الإحصائى «جداول رياضية وإحصائية» . فإذا كان هناك صمام أمن يستعمل فى تكرير البترول ، ومعدل أعطاله (MTBF) 16 عامًا ، تحسب احتمالية تركيب صمام جديد يعمل بدون أعطال لفترة 8 سنوات تالية ، على النحو التالى :

$$R = e^{-(8/16)} = e^{-(1/2)} = \frac{1}{e^{(1/2)}} = \frac{1}{\sqrt{2.7182}} = 0.606$$

وبذلك يمكن اتخاذ القرارات المناسبة .

نموذج صيانة الماكينات:

صيانة الماكينات تُعَدّ من أخطر المهام فى إدارة المنظومات الإنتاجية ، لأنها تقلل من احتمالات حدوث أعطال قد يتسبب عنها توقف الإنتاج ، مما يكلف المؤسسة مبالغ طائلة . والصيانة الوقائية هى التفتيش الدورى على الماكينات فى أثناء التشغيل ، والنشاط الخدمى لتوقع الأعطال المستقبلية ، وإجراء بعض الضبط والإصلاحات الخفيفة التى لا تعطل العمل ، وإجراء عمليات التشحيم والتزييت اللازمة للحفاظ على المعدات بدون تآكل . أما الإصلاح فهو توقف المعدات بسبب أعطال ميكانيكية أو كهربية أو إلكترونية أو غيرها ، مما يعطل الإنتاج .

ولما كانت تكاليف عمليات الإصلاح باهظة ، بالإضافة إلى الخسارة التى قد تنجم عن تعطل الإنتاج ، فالإدارة تهتم دائمًا بإجراء الصيانة الوقائية الدورية . ويمكن وضع سياسات معينة لتخطيط وجدولة وتحليل الصيانة الوقائية للمعدات عامة . ويستحب توضيح كيفية وضع هذه السياسات بتقديم مثال عددى . نفترض وجود مصنع لتنقية خام النحاس الأحمر ، مزود بخلايا تعويم الخامات تبلغ 40 خلية . ولضمان تشغيلها بكفاءة ، يجرى لها صيانة وقائية تتكلف LE 100 لكل خلية . أما إذا تعطلت الخلية فهى تتكلف LE 500 لإعادة تشغيلها ، وهذه التكلفة تشمل تنظيف الخلية وإعادتها للتشغيل بعد إصلاحها . وتوضح السجلات احتمالات الأعطال بعد الصيانة الوقائية للخلايا على النحو التالى :

عدد الشهور بعد الصيانة الوقائية	1	2	3	4
احتمال الأعطال بعد مضى هذه الشهور	0.2	0.1	0.3	0.4

والمطلوب وضع سياسة عملية لجدولة أعمال الصيانة الوقائية، وتحديد عدد مرات خدمة هذه الخلايا. وتتطلب هذه السياسة اقتراح بدائل مختلفة ومقارنتها بتكلفة إصلاح الأعطال، وهى على النحو التالى:

اقتراح البديل الأول. يتضمن هذا البديل إجراء صيانة وقائية مرة كل شهر. فتحسب التكلفة الإجمالية لأعمال الصيانات على النحو التالى:

التكلفة الإجمالية = تكلفة الخدمة + تكلفة الأعطال

= (عدد الخلايا) (تكلفة الصيانة الدورية) + (متوسط الاعطال بين الصيانات الدورية) (تكلفة الأعطال لكل خلية)

= (40 خلية) (LE100/ خلية) + [(40 خلية (0.2)] (LE 500) /خلية)

= 4,000 + 4,000 = LE 8,000

اقتراح البديل الثانى. يتضمن هذا البديل إجراء صيانة وقائية كل شهرين، فتحسب التكلفة الإجمالية لأعمال الصيانات على النحو التالى:

التكلفة الإجمالية = تكلفة الخدمة + (عدد الخلايا المتوقع توقفها بسبب أعطال فى الشهر الأول + الشهر الثانى + المتكرر) (تكلفة الأعطال لكل خلية)

= [(100) (40)] + [(0.2) (8) + (0.1 x 40) + (0.2 x40)] (500)

= 4,000 + (500) (13.6) = LE 10,800

فيصبح متوسط التكلفة الشهرية على النحو التالى:

$$\text{التكلفة الشهرية} = \frac{10,800}{2} = \text{LE } 5,400$$

فعندما تُخطط سياسة الصيانة الوقائية كل شهرين، فالتكلفة تتضمن فى هذه الحالة تكلفة الصيانة وهى LE 4,000 ، بالإضافة إلى تكلفة الأعطال فى كل من الشهر الأول والشهر الثانى، وتكلفة إصلاح بعض الخلايا (20%) متوقع تدفقها وإصلاح أعطالها مرة أخرى فى الشهر الثانى، أى قبل إجراء الصيانة الوقائية المجدولة لها.

اقتراح البديل الثالث. يتضمن هذا البديل إجراء صيانة وقائية كل ثلاثة شهور، فتحسب التكلفة الإجمالية لأعمال الصيانات على أساس حساب إجمالى عدد الأعطال المتوقعة B_n خلال فترة الثلاث شهور، وذلك على النحو التالى:

$$B_n = N\sum_{i=1}^{n} P_i + B_{n-1}P_1 + P_{n-2}P_2 + ... + B_1P_{n-1}$$

حيث:

N = عدد الخلايا الموجودة.

P_i = قيمة احتمال توقف الخلايا خلال شهر i بعد إجراء الصيانة الوقائية.

n = شهر الصيانة الوقائية، حيث n = 1 ، 2، 3، 4.

وعلى ذلك يحسب إجمالى عدد الأعطال المتوقعة خلال الشهور الأربعة على النحو التالى:

$$B_1 = N(P_1) = 40\ (0.2) = 8.00$$

$$B_2 = N(P_1 + P_2) + B_1(P_1) = 40\ (0.2 + 0.1) + 8\ (0.2) = 13.60$$

$$B_3 = N(P_1 + P_2 + P_3) + B_2(P_1) + B_1(P_2) = 27.52$$

$$B_4 = N(P_1 + P_2 + P_3 + P_4) + B_3(P_1) + B_2(P_2) + B_2(P_3) = 49.26$$

ويلاحظ أن الاختلافات بين إجمالى المتوقع الشهرى يتمثل فى الأعطال التى تحدث فى فترة معينة أو شهر معين. فيكون عدد الأعطال المتوقعة خلال فترة الشهر الثانى هو (8.0 - 13.6 = 5.6). والجدول رقم (01 - 6) يوضح الأعطال المتوقعة كل شهر وتكلفتها، وكذا تكلفة الصيانة الوقائية كل شهر.

جدول رقم (01 - 6): تحليل سياسات الصيانة الوقائية

البيـــــــان	الشهر الأول فقط	الشهر الأول والثالث	الشهر الأول والثانى والثالث	الشهور الأربعة
إجمالى عدد الأعطال المتوقعة خلال الفترة	**8.00**	**13.60**	**27.52**	**49.26**
تكلفة الأعطـــال على أســاس LE 500 / عطل + تكلفة الصيانة الوقائية خلال الفترة	**4,000 + 4,000**	**6,800 + 4,000**	**13,760 + 4,000**	**24,630 + 4,000**
إجمالى تكلفة الأعطال والصيانة	**8,000**	**10,800**	**17,760**	**28,630**
متوسط التكلفة الشهرية	**8,000**	**5,400**	**5,920**	**7,158**

أما التكلفة الإجمالية لسياسة الأعطال C_p ، فيمكن حسابها على النحو التالى :

$$C_p = \frac{NC_r}{\sum_{i=1}^{n} T_i P_i}$$

حيث :

C_r = تكلفة الإصلاح لكل خلية .

T_i = عدد مرات الشهور بعد الإصلاح خلال فترة زمنية i .

P_i = قيمة احتمال الأعطال خلال فترة زمنية i.

فتصبح تكلفة السياسة الخاصة بالأعطال على النحو التالى :

$$C_p = \frac{(40)\ (\text{LE } 500)}{1\ (0.2) + 2\ (0.1) + 3\ (0.3) + 4\ (0.4)} = \frac{20,000}{2.9} = \text{LE } 6,896$$

ويعنى هذا أن سياسة الصيانة الوقائية كل شهرين أو ثلاثة أفضل من سياسة الإصلاح ، وأن سياسة الصيانة الوقائية كل شهرين أفضل من سياسة كل ثلاثة أشهر .

الفصل الثالث: نماذج تحليل الإنتاجية

المنظومات الإنتاجية قلّما تخلو من حاجتها إلى اتخاذ قرارات بشأن وضع سياسات معينة لزيادة الإنتاجية (Productivity)، و هى النسبة بين الناتج المحقق وبين ما أستخدم من عناصر فى تحقيق الناتج النهائى. وقد قدم Quensay فى عام 1766 هذا المصطلح لأول مرة. وهناك عدة مفاهيم اعتبارية حول تعريف الإنتاجية. فأحد المفاهيم ينظر إلى الإنتاجية على أنها قدرة على تنفيذ وتحقيق المستهدف من خطة الإنتاج، واعتماد هذا التعريف مرهون بمدى قدرة الوحدة الإنتاجية على تحديد المستهدف بكل دقة. أما المفهوم الآخر فإنه يعطى نسبة تشير إلى كفاءة استخدام عناصر الإنتاج مجتمعة أو بصورة جزئية أو لكل عنصر على حدة فى العملية الإنتاجية، مما يعطى صورة واضحة لتأثير كل عناصر الإنتاج مجتمعة. ويُعَدُّ المفهوم الثانى هو الأكثر ملاء مة وقبولاً فى المؤسسات التصنيعية.

ومن أبسط التعاريف المتعلقة بالإنتاجية والمقبولة لجميع المستويات أنها علاقة بين المخرجات والمدخلات، حيث يمثل الناتج بالمخرجات، وجميع العناصر المستحدثة بالمدخلات. ويمكن صياغة هذه العلاقة على النحو التالى:

$$\text{معدل الإنتاجية} = \left(\frac{\text{قيمة المخرجات}}{\text{تكلفة المدخلات}}\right) > 1$$

أى أن الإنتاجية هى مقياس فاعلية استخدام الموارد لإنتاج سلع وخدمات. ويلاحظ أن قيمة المخرجات تُحدَّد بالمستهلكين فى الأسواق، وتكلفة المدخلات تعتمد كثيراً على النفقات التى تدفع للموردين. وتركز الإدارة عادة على كفاءة تحويل الأنشطة. ومن العوامل المؤثرة على الإنتاجية فى أى منظومة إنتاجية هو نسبة رأس المال للعمالة، وندرة الموارد، وتغيرات فى القوى العاملة، والتكنولوجيا والابتكارات، وغيرها.

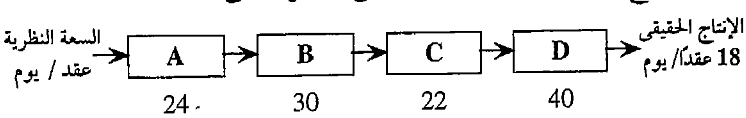
ويمكن تقويم إدارات المؤسسات الإنتاجية من خلال عنصرين مهمين: أولهما الفاعلية (Effectiveness) وهى التعبير عن قدرة الإدارة على تحقيق الأهداف المنوطة بها، وازدياد الفاعلية يؤدى إلى رفع فى مستوى الإنتاجية؛ وثانيهما الكفاءة (Efficiency) ويعنى بها القدرة على الإنجاز وفقًا لما هو محدَّد. كما يشير هذا المصطلح فى مجال الإدارة إلى التكلفة الكلية للمنتج النهائىْ ذى أعلى جودة ممكنة. والكفاءة هى تقليل فى الكفاءة أو ارتفاع فى الجودة أو كلاهما. والإنتاجية تزداد بزيادة الكفاءة، أى أنه يمكن القول بأن مستوى الإنتاجية عمومًا يرتفع بزيادة كلٍّ من الفاعلية والكفاءة.

نموذج كفاءة التشغيل:

تشغيل المعدات بكفاءة عالية تعنى تقليل إجمالى التكلفة الإنتاجية. وتستخدم معايير كفاءة التشغيل فى تخطيط برنامج إنتاجى محدَّد؛ مع توصيف النفقات المتوقعة الخاصة بالمصروفات المباشرة من قوى عاملة ومواد أولية وغيرها، والمصروفات غير المباشرة من إدارة عليا ومرافق عامة وغيرها؛ وترشيد المنظومة الإنتاجية من خلال التعرف على القصور فى الأداء، حتى يمكن إجراء بعض التعديلات فى خطط الشركة.

وللتعرف على سعة المنظومة الإنتاجية وكفاءة تشغيلها، نستعرض مثالاً بسيطًا لمنظومة خدمية. نفترض أن مكتب الشهر العقارى فى أحد الأحياء يقوم بتسجيل عقود بيع وشراء العقارات. والمكتب ينظم نشاطه من خلال 4 مراكز خدمية، حيث يقوم المركز الأول A بالبحث فى السجلات، والمركز الثانى B بالفحص للمستندات، والمركز الثالث C بالإعداد للطلبات، والمركز الرابع D بالتسجيل للعقود، على التوالى. والسعات النظرية للمراكز الأربعة A وB وC وD هى 24 و30 و 22 و40 عقد فى اليوم على التوالى، فى حين أن الإنتاج الحقيقى للمنظومة ككل هو 18 عقد فى اليوم.

ويمكن توضيح منظومة التشغيل هذه باستعراض العلاقة الرياضية بين السعة النظرية للمنظومة، والإنتاج الحقيقى للمخرجات، على النحو التالى:



فيمكن حساب السعة النظرية للمنظومة على أساس أقل سعة فى أى مركز من المراكز

الإنتاجية، وهى المركز C الذى يمكن أن يقوم بإنهاء 22 عقداً. أما كفاءة تشغيل المنظومة، فيمكن حسابها على النحو التالى :

$$\text{كفاءة تشغيل المنظومة} = \frac{\text{الإنتاج الحقيقى لمنظومة التشغيل}}{\text{السعة النظرية لمنظومة التشغيل}}$$

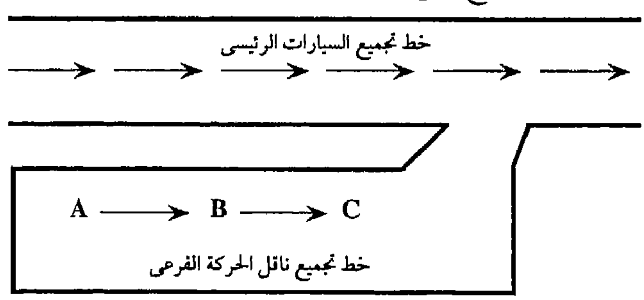
$$= \frac{\text{18 عقداً / يوم}}{\text{22 عقداً / يوم}} = 0.82 = \%82$$

وبذلك يمكن اتخاذ القرار المناسب نحو أساليب رفع كفاءة التشغيل.

نموذج كفاءة التجميع :

تجميع المكونات بكفاءة عالية تعنى تقليل إجمالى الوقت الضائع، أى الوقت غير المنتج. والإنتاجية عامة هى قياس فعالية استخدام الموارد لإنتاج سلع أو تقديم خدمات. وتركز الإدارة عادة على كفاءة عمليات تحويل مقومات الإنتاج إلى نواتج ذات قيم مضافة.

ويمكن توضيح فكرة حساب الكفاءة فى خط إنتاج تجميعى بمثال بسيط. نفترض أن شركة تجميع سيارات تقوم بتجميع 50 سيارة فى الساعة، ويتفرع من خط التجميع الرئيسى، خط فرعى لتجميع ناقل الحركة الذى يغذى الخط الرئيسى. وهذا الخط الفرعى مزود بثلاث محطات عمل A وB وC التى تحتاج إلى 60 و45 و55 ثانية على التوالى، كما هو موضح فى الشكل رقم (06 - 6)، وتتبع محطة التجميع الرئيسى التوزيعة الطبيعية (Normal Distribution) بإنحراف معيارى (Standard Deviation) 5 ثوان. والمطلوب تحديد الوقت الذى قد يفشل فيه مغذى ناقل الحركة إلى خط التجميع الرئيسى حسب الطلب، عند وصول جميع الأعمال إلى محطة العمل C فى الوقت المحدد؛ وكذا تحديد كفاءة اتزان خط تجميع ناقل الحركة الفرعى.



شكل رقم (06 - 6): خط تجميع سيارات

ويمكن حساب معدل خط التجميع الرئيسى على النحو التالى :

$$\text{معدل خط التجميع الرئيسى} = \left(\frac{\text{60 دقيقة / ساعة}}{\text{50 سيارة / ساعة}}\right)$$

$$= 1.2 \quad \text{دقيقة/ سيارة}$$

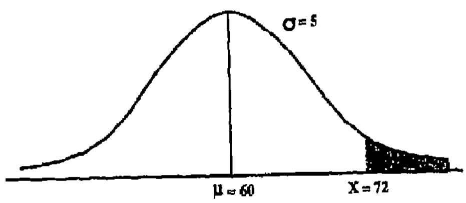
أى 72 ثانية لكل سيارة. كما يمكن حساب القيمة Z. ويمكن الرجوع إلى الجدول رقم (A - 09) لمساحات واقعة تحت التوزيعة الاحتمالية الطبيعية فى الملحق الإحصائى «جداول رياضية وإحصائية»، وهى على النحو التالى :

$$Z = \frac{x - \mu}{\delta} = \frac{72 - 60}{5} = 2.4 \quad \text{ثانية}$$

و يمكن قراءة القيمة الاحتمالية من الجداول على النحو التالى :

$$P(x > 72) = 0.008$$

أى ما يقرب من 1%، كما هو موضح فى الشكل رقم (07 - 6).



شكل رقم (07 - 6): قيمة احتمالية تحت التوزيعة الطبيعية

وتحسب كفاءة خط التجميع على النحو التالى :

$$\text{اتزان خط التجميع} = \left(\frac{\text{إجمالى وقت خط التجميع الفرعى}}{\text{إجمالى وقت دخول المحطات}}\right)$$

$$= \frac{55 + 45 + 60}{(3)(72)} = \frac{160}{216} = 74\%$$

حيث إن زمن الدورة محكوم بمخرجات خط التجميع الرئيسى، وهو 72 ثانية للسيارة الواحدة.

تمارين تحليل المنظومات

آثرت أن أنتقى مجموعة من التمارين العملية والتطبيقية فى مجال نمذجة تحليل المنظومات، حتى يمكن تفهم إجراءات معالجة مشكلات التحليل، واستيعاب أفكار تشكيل منظومات التحليل، وتدارس أصول تمثيل نماذج التحليل، وهى على النحو التالى:

نموذج دراسة العمل:

6-01 يوجد فى أحد مناجم خام الحديد «لودر» (Loader) واحد و3 ناقلات تحميل وتفريغ. يحتاج اللودر 8 دقائق لتحميل الناقلة، فى حين أن الناقلة تسافر محمَّلة فى 9 دقائق، وتفرغ الشحنة فى دقيقتين، وتعود الناقلة فارغة فى 7 دقائق. وتكلفة تشغيل الناقلة LE 200 فى الساعة، وتكلفة اللودر شاملاً العامل الذى يقوده LE 350 فى الساعة.

1 - ارسم خريطة النشاط، وأوجد طول الدورة الزمنية (Cycle Length).

2 - احسب تكلفة الوقت الضائع فى الساعة.

6-02 تستعمل شركة مقاولات ناقلات تحميل وتفريغ أسفلت إلى موقع إعداد طريق جديد مُغطى بأسفلت سمكه 10 سنتيمترات. وتحتاج الناقلة 3 دقائق لتحميل الأسفلت من موقع تجهيزه، 7 دقائق لنقله إلى الطريق الجديد، 10 دقائق لتفريغ الأسفلت فى موقع ماكينة تسطيح الأسفلت على الطريق، وتقتنى الشركة ماكينة واحدة لتسطيح الأسفلت، وهى تعمل فى أثناء تغذيتها بالأسفلت.

1 - أوجد عدد الناقلات المطلوبة لتسفلت الطريق بأسرع ما يمكن.

2 - ارسم خريطة النشاط لناقلتين وماكينة واحدة لتسطيح الأسفلت.

3 - أوجد عدد الناقلات التى يجب أن تستعمل لتقليل تكلفة وقت الماكينة الضائع، فى حالة أن تكلفة ماكينة تسطيح الطريق LE 80 فى الساعة، وتكلفة الناقلة LE 34 فى الساعة.

6-03 أجريت دراسة عينات فى مكتب بيع تذاكر طيران. وقد شعر مدير المبيعات أن موظف التذاكر لديه وقت ضائع 30% من إجمالى الوقت، ويرغب فى أن يكون على ثقة 95.5% بالحصول على دقة 4%. حدِّد حجم العينة.

نموذج قياس العمل:

6-04 أجريت دراسة لقياس العمل فى أحد مصاعد الحبوب، وقد وجد أن زمن الدورة 8.57 دقيقة لعامل معدله 107%، والمسموحات هى على النحو التالى: وقت شخصى = 25 دقيقة/ يوم، وقت التعب = 84 دقيقة/ يوم، وقت التأخير = 35 دقيقة/ يوم. حدِّد الوقت النمطى لعملية 8 ساعات/ يوم.

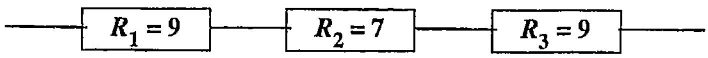
6-05 أجريت دراسة قياس العمل لمدة 40 يوما، لأحد العمليات التى تضم ماكينة وعامل. وقد وجد أن وقت العامل 0.60 دقيقة لكل دورة، ووقت الماكينة 1.40 دقيقة لكل دورة. ومعدل العامل 115%. وحسبت المسموحات للعملية على أساس 8 ساعات/ يوم على النحو التالى: وقت شخصى = 30 دقيقة/ يوم، وقت تعب = 20 دقيقة/ يوم، وقت تأخير = 30 دقيقة/ يوم. احسب الوقت النمطى لكل من عملية العامل/ الماكينة ـ أى مرتبطين ـ فى الدورة الزمنية.

6-06 أجريت دراسة عينات فى عملية تحميل الناقلات لاستخلاص وقت العمل النمطى. ففى خلال 120 دقيقة أخذت ملاحظات، ووجد أن الموظف يعمل 80% من إجمالى الوقت، ويقوم بتحميل 60 قطعة. وقام المحلل بتحديد أداء العمل 90%. فإذا رغبت الشركة فى اعتبار 10% معامل مسموحات عن الوقت الشخصى، ووقت الراحة، ووقت التأخير، أوجد وقت العمل النمطى للعملية بالدقيقة لكل قطعة.

نموذج اعتمادية الماكينات:

5-07 تعمل ماكينة أوتوماتيكيا تحت الأرض فى أحد المناجم. ونظراً لحرارة الجو فى المنجم، فمن الضرورى استبدال تيل جهازى الفرامل دورياً. ويقدّر تيل الفرامل A بمبلغ LE 40، ويتكلف LE 50 لتركيبه، ويعمل 300 ساعة. أما تيل الفرامل B فسعره LE 30، ويتكلف LE 35 لتركيبه، ويعمل 400 ساعة. ويمكن تركيب نوعى تيل الفرامل A و B عند إيقاف الماكينة بتكلفة LE 45 فقط. قارن التكلفة بين استبدال تيل الفرامل كلٍّ على حدة، أو استبدالهما معًا.

6-08 يوجد نظام تنقية المياه بثلاث مكونات تعمل على التوالى R_1 وR_2 وR_3. وتبقى اعتمادية المكونات ثابتة ثلاثة شهور كما هو موضح:



وتستبدل هذه المكونات الثلاثة كل ثلاثة شهور، دون النظر إلى أطوال فترة تشغيلها. ويتعرض أى من هذه المكونات إلى العطل والتوقف فى أى وقت من الأوقات. ويتكلف هذا التوقف والإصلاح LE 300. حدِّد تكلفة التوقف والإصلاح السنوية المتوقعة.

6 -09 يوجد خط لتفريط «كيزان» الذرة مجهز بماكينتين تعملين على التوالى. ونظراً لتشغيل هاتين الماكينتين باستمرار، فإنهما يحتاجان إلى استبدال السكينتين الرئيسية P والمعاونة S. والبيانات موضحة كالتالى:

	تكلفة السكينة	تكلفة تركيب السكينة	مدة تشغيل السكينة
السكينة الرئيسية P	LE 60	LE 70	80 ساعة
السكينة المعاونة S	LE 40	LE 60	100 ساعة
السكينتين	LE 100	LE 90	—

هل تستبدل كل سكينة على حدة بعد مدة تشغيلها، أو يستبدلان معًا كل 80 ساعة، اجر الدراسة على فترة زمنية طولها 800 ساعة.

نموذج صيانة الماكينات:

6-10 تحتفظ إحدى شركات غزل الصوف بسجلات تشغيل ماكينة التمشيط لمدة 300 يوم فى السنة، وقد تبين أن الأعطال تحدث على النحو التالى :

عدد مرات حدوث الأعطال (يوم)	عدد الأعطال
40	0
150	1
70	2
30	3
10	4
300	المجموع

وتقدّر الشركة تكلفة كل عطل بمبلغ LE 65. لذلك تنوى الشركة تبنى برنامج صيانة وقائية يتكلف LE 20 فى اليوم، وتَحدّ من عدد الأعطال إلى عطل واحد فى المتوسط يوميًا. احسب التوفير المتوقع من تطبيق برنامج الصيانة الوقائية.

6-11 يقدم أحد عمال الصيانة خدماته فى ورشة خاصة بصيانة الماكينات. وقد تمت مراقبة أعماله فى فترة 8 ساعات، واتضح أن نشاطه على النحو التالى :

طول الخدمة بالساعة	وقت طلب العامل للصيانة
1.5	0^{00}
0.5	1^{00}
2.0	3^{00}
0.5	4^{00}
1.0	7^{00}

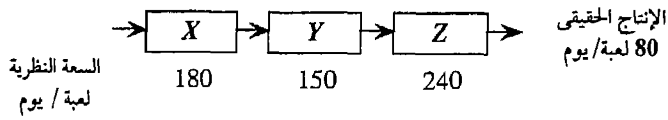
وتكلفة عامل الصيانة LE 14 فى الساعة، وتكلفة انتظار الماكينة بدون عمل حتى يقوم العامل بإصلاحها LE 45 فى الساعة.

1 - حدِّد تكلفة وقت العامل الضائع.

2 - احسب تكلفة انتظار الماكينات.

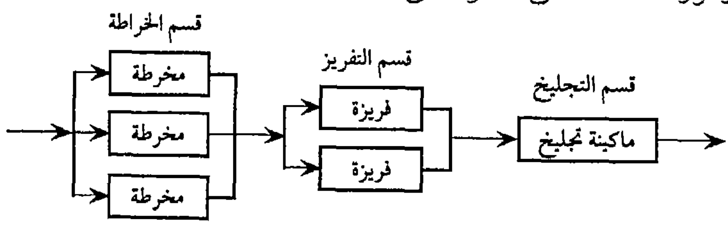
نموذج كفاءة التشغيل:

6-12 ينتج أحد مصانع ألعاب الأطفال لعبة إلكترونية على خط إنتاج مكون من 3 محطات تشغيل X وY وZ، والسعة النظرية لهذه المنظومة موضحة فى الشكل التالى:



فإذا كان الإنتاج الحقيقى للمنظومة الإنتاجية 80 لعبة/ يوم، احسب كفاءة تشغيل المنظومة.

6-13 تنتج إحدى الورش الميكانيكية بعض لوازم المواسير مثل كوع وجلبة وغيرها. وتمر عملية الإنتاج على 3 مراحل: قسم الخراطة، ثم قسم الفرايز، ثم قسم التجليخ، على التوالى. والورشة منظمة على النحو التالى:



والسعة الإنتاجية لأى مخرطة فى قسم الخراطة 30 وحدة/ ساعة، ولأى فريزة 45 وحدة/ ساعة، ولماكينة التلجيخ 80 وحدة/ ساعة. ونظرًا لعملية تحميل الماكينات، فتبلغ إنتاجية العامل فى قسم الخراطة 25 وحدة/ ساعة لكل عامل خراطة، وفى قسم التفريز 45 وحدة/ ساعة لكل عامل فريزة، وفى قسم التجليخ 80 وحدة/ ساعة لعامل التجليخ. وقد تم إنتاج 1,000 وحدة خلال الأسبوع الماضى (40 ساعة عمل).

1 - حدِّد سعة المنظومة الإنتاجية .

2 - احسب كفاءة تشغيل المنظومة .

نموذج كفاءة التجميع:

6-14 تستخدم إحدى شركات إنتاج أجهزة الروبوت منظومة إنتاج مرن مبرمج بالروبوت لتجميع أجهزة الروبوت التى تعرضه هذه الشركة للبيع . يتوافر 5 روبوتات لتجميع العمليات الموضحة فى الجدول التالى :

رقم العمليات	وقت التجميع (ثانية)	العملية المتبوعة
01	10	--
02	24	--
03	17	01
04	49	01
05	12	03
06	14	03
07	27	02
08	9	05
09	20	06,07
10	23	04 , 08 , 09
11	36	09
12	18	10, 11

1 - حدِّد أقل دورة زمنية (نظريًا) إذا تم استخدام جميع الروبوتات الخمسة تمامًا فى خمس محطات تجميع على خط التجميع .

2 - جمِّع العمليات فى المحطات الخمس التالية ذات الكفاءة العالية على خط التجميع .

3 - حدِّد طول الدورة الزمنية .

4 - احسب كفاءة اتزان خط التجميع .

6-15 يقوم أحد مصانع لعب الأطفال بإنتاج منزل لعروسة على خط تجميع مصمَّم لإنتاج وحدة كل دقيقة. والجدول التالى يوضح العمليات، والعلاقة التتابعية (Precedence Relation)، ووقت التجميع بالدقيقة :

رقم العمليات	وقت لتجميع (ثانية)	العمليـة المتبوعة
01	0.2	--
02	0.6	01
03	0.4	01
04	0.7	02
05	0.3	03
06	0.5	03
07	0.6	04
08	0.1	05,06
09	0.4	07 , 08

1 - جمِّع العمليات فى المحطات الخمس التالية ذات الكفاءة العالية على خط التجميع .

2 - احسب كفاءة اتزان خط التجميع .

الباب السابع
نمذجة تحكم المنظومات

الفصل الأول: نماذج مراقبة الإنتاج

الفصل الثاني: نماذج مراقبة التكاليف

الفصل الثالث: نماذج مراقبة الجودة

الباب السابع
نمذجة تحكم المنظومات

وظيفة التحكم أو المراقبة تُعَدّ من أهم وظائف الإدارة العلمية، فهى تشمل عمليات مراقبة الإنتاج، وعمليات مراقبة التكاليف، وعمليات مراقبة الجودة. ومراقبة أو متابعة المنظومة الإنتاجية تتطلب مقارنة بين الأداء المخطط والأداء المحقق للأنشطة. وتشمل عناصر التحكم: أداء القياسات بأجهزة دقيقة حساسة، وتغذية مرتدة للمعلومات فى الوقت المناسب، لمقارنتها بالأماميات كالوقت المعيارى والتكلفة المعيارية، وتصحيح الانحرافات بين الحقائق والأماميات بواسطة إدارة واعية وقادرة.

وتتوقف مراقبة الإنتاج على نوعية المنظومة الإنتاجية تصنيعية كانت أو خدمية، كما تتوقف على نوعية المنظومة التصنيعية سواء كانت إنتاجًا متقطعًا أو إنتاجًا مستمرًا. ومتابعة الإنتاج يتطلب التعرف على سعات مراكز الإنتاج، وأولويات الإنتاج، حتى يمكن تحديد المعدلات لجدولة مختلف النشاطات.

وتتطلب مراقبة التكاليف تصميم منظومة تكاليف لمختلف المنتجات، وذلك على أساس التكاليف الفعلية، والتكاليف المعيارية، وتحليل هذه التكاليف للوصول إلى تحديد مستويات الأسعار، ووضع استراتيجيات للتسعير. كما تُحدَّد معايير مالية لدراسة مدى نجاح المنظومة الإنتاجية.

وتحتاج مراقبة الجودة إلى تحديد الانحرافات بين مواصفات السلعة أو الخدمة، ومواصفاتها القياسية أو الأمامية، وتحليل أسباب هذه الانحرافات تمهيدًا لمعالجتها. وتهدف مراقبة الجودة إلى تقليل عدد الوحدات المعيوبة، وبالتالى تخفيض تكلفة الإنتاج، الذى يجعل المؤسسة فى موقف تنافسى قوى.

ويختص هذا الباب بنماذج مراقبة الإنتاج، ومراقبة التكاليف، ومراقبة الجودة، بهدف اتخاذ القرارات الرشيدة فى المنظومات الإنتاجية.

الفصل الأول: نماذج مراقبة الإنتاج

المنظومات الإنتاجية قلّما تخلو من حاجتها إلى اتخاذ قرارات بشأن وضع سياسة خاصة بمعدلات الإنتاج نوعًا وكيفًا وكمًا. والإنتاج يمثل مخرجات المنظومة الإنتاجية من سلع وخدمات. ويمكن التعبير عنه بوحدات كمية أو نوعية. ومراقبة الإنتاج (Production Control) هو استخدام أساليب إدارة أولويات وسعات الإنتاج فى جدولة ومراقبة العمليات الإنتاجية.

ومراقبة الأولويات(Priority Control) تؤكد مدى متابعة الأنشطة الإنتاجية لخطة الأولويات عن طريق مراقبة أوامر الشراء للموردين ـ حسب خطة الاحتياجات من المواد ـ ومراقبة أوامر التشغيل للمنتجين. أما مراقبة السعة (Capacity Control) فهى تؤكد مدى إمداد مراكز التشغيل بالعمالة والمعدات الضرورية والمخططة لتنفيذ الأعمال المجدولة.

نموذج معدل الإنتاج:

تتوقف مراقبة الإنتاج على نوعية المنظومة الإنتاجية. فالإنتاج المتدفق يحتاج إلى مراقبة عمليات الإنتاج المستمر، وذلك بتحديد معدلات إنتاج لكل سلعة منتجة، وتغذية العمل فى المنظومة بمعدل معين، ومتابعة هذا المعدل. أما الإنتاج المتقطع فيحتاج إلى مراقبة عمليات الإنتاج المتقطع، وذلك بمتابعة مدى تقدم كل أمر من أوامر التشغيل، من خلال العمليات المتتالية فى دورة الإنتاج.

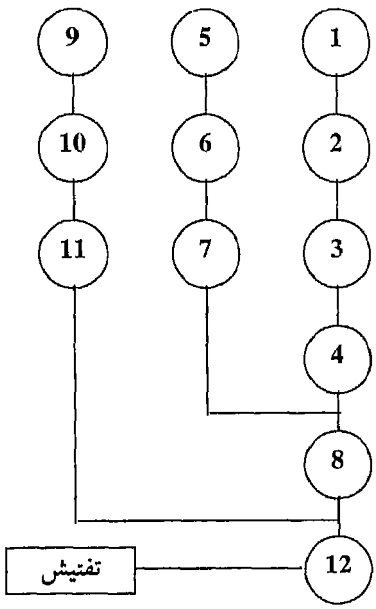
ويمكن توضيح هذا المفهوم بتقديم مثال بسيط. نفترض أن إحدى الورش الميكانيكية تقوم بتنفيذ أمر شغل لتصنيع 50 آلة رى صغيرة، ويمر تشغيل هذا المنتج فى 12 مركز تشغيل (Work Centers)، ومحطة تفتيش واحدة (Inspection Center) كما هو موضح فى الشكل رقم (01 - 7).

وقد تبين من خبرة إدارة هذه الورشة ومستوى العمالة الموجودة بها، أن 10% من آلات الرى المنتجة ترفض لبعض العيوب، فيجب حساب عدد الوحدات المطلوب إنتاجها، مع الأخذ فى الحسبان النسبة المرفوضة، وذلك على النحو التالى:

عدد الوحدات = (عدد الوحدات المطلوبة في أمر الشغل ÷ نسبة الصالح من الوحدات المنتجة)

$$= \frac{50}{0.90} = 55.56$$ وحدة

أى يجب إنتاج 56 وحدة حتى نضمن توريد 50 وحدة حسب أمر الشغل المطلوب.



شكل رقم (01 - 7): عمليات التشغيل والتفتيش لتصنيع آلة رى

وتُعَدّ هذه الطريقة غير عملية لسببين: أحدهما هو أنه إذا تصادف أن تضاعفت العيوب، ورفض 7 وحدات أو أكثر مثلاً، فإنه ينتج عنه نقص فى كمية أمر الشغل، مما قد يؤدى إلى ضرورة تصنيع دفعة أخرى بحجم معين من هذه الوحدات، مما يتسبب عنه تكلفة أكثر، ووقت ضائع. وثانيهما هو أنه إذا تصادف أن خرج من خط الإنتاج أكثر من 50 وحدة

جيدة، فيتم توريد العدد المطلوب، أما الزيادة فإما تُخرَّد أو تُخزَّن، مما يتسبب فى تكلفة أعلى، وخاصة أن هذه الآلات مصنَّعة خصيصًا لأحد العملاء بمواصفات معينة.

ويمكن تحديد دفعة الإنتاج (Production Batch) المثالية بأسلوب رفض المسموح (Reject Allowance Approach)، وذلك على أساس الموازنة الحسابية بين تكلفة إنتاج وحدات كثيرة مقابل تكلفة إنتاج وحدات قليلة، والهدف هو تحديد حجم الدفعة المثلى (Economic Lot Size)، بشرط تعظيم الأرباح المتوقعة، وهى على النحو التالى:

$$E[P(Q)] = E[R(Q)] - E[C(Q)]$$

حيث:

$E[P(Q)]$ = قيمة الأرباح المتوقعة الناتجة عن إنتاج حجم معين Q.

$E[R(Q)]$ = قيمة الإيرادات من المبيعات المتوقعة الناتجة عن إنتاج حجم معين Q.

$E[C(Q)]$ = قيمة التكلفة المتوقعة الناتجة عن إنتاج حجم معين Q.

وبالتالى يمكن حساب قيمة الأرباح الناتجة عن إنتاج Q وحدة، منها x وحدة مقبولة، وذلك على النحو التالى:

$$E[P(Q)] = \sum_{x=0}^{Q} [R(Q,x)\,p(x) - C[(Q,x)]$$

حيث:

$R(Q, x)$ = قيمة الإيرادات الناتجة عن إنتاج Q وحدة منها x وحدة مقبولة.

$C(Q, x)$ = قيمة التكلفة الناتجة عن إنتاج Q وحدة، منها x وحدة مقبولة.

$P(Q, x)$ = قيمة الأرباح الناتجة عن إنتاج Q وحدة، منها x وحدة مقبولة.

ولتوضيح الفكرة، نستعرض مثالاً بسيطًا. يقوم مسبك لصهر المعادن بتنفيذ أمر شغل من أحد العملاء بصهر 20 وحدة من المسبوكات. وتسمح سعة فرن الصهر بسبك وصهر العشرين وحدة كدفعة واحدة. ويعاد صهر الوحدات المعيبة أو الصالحة الزائدة عما هو مُدوَّن فى أمر الشغل بتكلفة المادة الخام فقط. وقد تم التعاقد بين المسبك والعميل بالشروط التالية:

* يرفض العميل الطلبية ويلغى أمر الشغل، إذا كانت الوحدات الصالحة أقل من 18 وحدة، أى $x = 0,1,...., 17$.

* يشترى العميل الوحدات الصالحة، بشرط ألا تكون عدد الوحدات أقل من 18 وحدة، أى $x = 18, 19, 20$.

* يتسلم العميل الوحدات الصالحة حسب أمر الشغل فقط، وهو ليس مسئولاً عن أى وحدات أخرى زيادة عن العشرين وحدة، أى $x = 21,22,....,Q$.

فإذا كانت تكلفة المواد الخام LE 300 ، وتكلفة التصنيع LE 2,250 ، وسعر البيع LE 4,000 للوحدة الواحدة ، فالمطلوب تحديد الحجم الأمثل للتصنيع، بشرط تعظيم الأرباح أو تصغير التكلفة. فيمكن ترجمة شروط التعاقد بين المسبك والعميل رياضيًا بحساب الإيرادات والتكلفة على النحو التالى:

$$R(Q,x) = \begin{cases} 500\,Q, & x = 0,1,.....,17 \\ 4,000\,x + 500\,(Q - x), & x = 18,19,20 \\ 4,000\,(20) + 500\,(Q - 20), & x = 21,22,...,Q \end{cases}$$

ومن خبرة إدارة المسبك، تم حساب قيم الاحتمالات للوحدات المسبوكة الصالحة، وهى موضحة فى الجدول رقم (01 - 7) . وتصبح دالة الإيرادات المتوقعة على النحو التالى:

$$E[R(Q,x)] = \sum_{x=0}^{Q} [\,R(Q,x)\;p(x)\,]$$
$$= 500\,Q + 3,500 \sum_{x=18}^{20} x\,p(x) + 60,000 \sum_{x=21}^{Q} p(x)$$

أما التكلفة فهى ليست دالة مُعبّرة عن عدد الوحدات الصالحة x، وعلى ذلك تصبح دالة التكلفة المتوقعة على النحو التالى:

$$E[C(Q,x)] = C(Q) = 500\,Q + 2,250\,Q = 2,750\,Q$$

فتصبح الأرباح المتوقعة كما هو على النحو التالى:

$$E[\,P(Q)\,] = E\,[\,R(Q,x)\,] - E\,[C(Q,x)\,]$$
$$= 500\,Q + 3,500 \sum_{x=18}^{20} x\,p(x) + 60,000 \sum_{x=21}^{Q} p(x) - 2,750\,Q$$
$$= 3,500 \sum_{x=18}^{20} x\,p(x) + 60,000 \sum_{x=21}^{Q} p(x) - 2,250\,Q$$

ويمكن حساب مفردات دالة الربح من الجدول رقم (02 - 7)، فيكون الحجم الأمثل لدفعة الإنتاج هو $Q^* = 25$ وحدة، بربحية متوقعة LE 5,400 .

جدول رقم (01 - 7): قيم الاحتمالات للوحدات المسبوكة الصالحة

عدد الوحدات المنتجة (x)																	
حجم الدفعة Q	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
20	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1

جدول رقم (02 - 7): حجم الإنتاج الأمثل لدفعة من الوحدات المسبوكة

حجم الدفعة Q	$3,500 \sum_{x=18}^{20} x\, p(x)$	$60,000 \sum_{x=21}^{Q} p(x)$	$2,250\, Q$	ربحية متوقعة
20	26,600	--	45,000	-18,400
21	26,600	6,000	47,250	-15,150
22	33,600	12,000	49,500	-3,900
23	26,950	24,000	51,750	800
24	19,950	30,000	54,000	4,050
25*	13,650	48,000	56,250	5,400*
26	13,650	48,000	58,500	3,150
27	7,000	54,000	60,750	250
28	--	60,000	63,000	-3,000
29	--	60,000	65,250	-5,250
30	--	60,000	67,500	-7,500

نموذج جدولة الإنتاج:

تُعَدّ تغذية المصنع أو الورشة بأوامر شغل دائمة، وتوزيع الأعمال المط محطات العمل، من الأمور التى تتطلب جدولة محكمة للعمليات، للمعدات، بهدف تفادى تأخر الأعمال المطلوبة، وتخفيض وقت انتظار ا تحديد كميات الإنتاج بتطبيق أسلوب البرمجة الديناميكية.

ولتوضيح هذا المفهوم، نفترض وجود مسبك لصهر المعادن لديه 11 أ مشغولات خاصة لتوريدها خلال 4 أسابيع. وتعمل عمليات الصهر وال للإنتاج العادى، ولكن يمكن تشغيل 4 أوامر خاصة فى الأسبوع. وإذا شغل خاصة، فالمعدات تتكلف قيمة وقت المعدات الضائع. وينتج عن ال والإيرادات المحصلة من تنفيذ أوامر الشغل الخاصة، أرباحًا موضحة بالجدو

ال	أرباح من إنتاج N وحدة فى الأسبوع			
	A	B	C	D
	- 4	- 4	- 4	- 4
	4	9	8	3
	12	10	15	11
	20	22	20	20
	18	16	24	18

والمطلوب جدولة أوامر الشغل فى الأسابيع الأربعة، بهدف تعظيم الربحية.

وأسلوب البرمجة الديناميكية يقدم منهجًا نظاميًا لتحديد مجموعات ا تعطى أمثل الحلول، فهى لا تقدم نموذجًا رياضيًا عامًا كما فى البرمجة الخطي على تطويع الأسلوب ليتناسب مع المشكلة (lem-Oriented Approach حين أن البرمجة الخطية تعمل على تطويع المشكلة ليتناسب مع (Technique-Oriented Approach). لذلك فإن تطبيق البرمجة الديناميك مهارة وابتكار.

والبرمجة الديناميكية تتسم بخواص أساسية تحدد معالم المنظومات التى تصاغ فى نماذج رياضية يمكن حلها بهذا الأسلوب، وهى: تقسيم المشكلة إلى مراحل (Stages)، بحيث تؤخذ عدة قرارات عند كل مرحلة؛ ثم تقسم المرحلة إلى حالات (States) تعبر عن مختلف الشروط الممكنة، وتحول الحالات الجارية عند مرحلة معينة إلى حالات تتبع المرحلة التالية، وعند كل حالة جارية، تُعَدّ السياسة المثلى لباقى المراحل مستقلة عن السياسات التى اتخذت فى المراحل السابقة. وتبدأ الطريقة بإيجاد السياسة المثلى لكل حالة فى المرحلة الأخيرة.

وتوجد علاقة متشابكة تحدد السياسة المثلى لكل حالة من المراحل المتبقية n، عندما توجد السياسة المثلى لكل حالة مع n-1 مراحل متبقية، وتتحرك الطريقة مرحليًا بمرحلة، باستخدام العلاقة المتشابكة ــ عند إيجاد السياسة المثلى لكل حالة عند كل مرحلة ــ حتى توجد السياسة المثلى عند بدء المرحلة الأولى.

والبرمجة الديناميكية تبدأ بتحديد خطة الإنتاج المثلى للأسبوع الرابع D، ثم يعمل للوراء، على أساس أن نصل بالخطة المثلى فى آخر أسبوع، وتبقى هذه الخطة مُثْلى، بصرف النظر عن الجدولة التى تسبق الأسبوع. ويمكن السير فى الحل على النحو التالى:

منظومة ذات مرحلة واحدة D. تؤخذ البدائل المتوافرة للأسبوع الرابع D من جدول الأرباح الموضح من قبل، وتوضع فى الجدول التالى، مع ملاحظة أن خلايا الجدول الخالية تعبر عن كونها غير ممكنة، لأنه لا يمكن عمل عدد الوحدات المنتجة أثناء هذا الأسبوع. وتشير النجمة * إلى أن كميات الإنتاج هذه مرشحة لتكون الكميات المثلى فى هذه المرحلة.

عدد الوحدات المنتجة فى الأسبوع D	إجمالى الوحدات من الأسبوع D				
	0	1	2	3	4
0	- 4*				
1		3*			
2			11*		
3				20*	
4					18*

منظومة ذات مرحلتين D و C . بالرجوع إلى الوراء شاملاً الأسبوع السابق C، يمكن تجميع حتى 8 وحدات فى الأسبوعين C و D، وذلك بإنتاج 4 وحدات فى كل أسبوع. والمجموعات الممكنة ما هى إلا ترابطات ناتجة فى الأسبوعين. فمثلاً، إذا أنتجت وحدة واحدة فى الأسبوع C، فمن غير الممكن تجميع 6 وحدات فى الأسبوع C و D معًا، لأن إمكانية المساهمة للأسبوع D تصل حتى 4 وحدات فقط، كما فى الجدول التالى :

عدد الوحدات المنتجة فى الأسبوع C	إجمالى الوحدات من الأسبوع C و D								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0				16	14				
1				19	28*	26			
2				18	26	35*	33		
3				26*	23	31	40*	38	
4					20	27	35	44*	42*

وبالمثل 3 وحدات على الأقل يجب تجميعها فى الأسبوع C و D للاحتياجات الإجمالية 11، والسعة القصوى 4 لكل أسبوع أى إجمالى 8 وحدات للأسبوعين فى الأسبوع A و B . فالخلايا المجمعة تمثل كميات أقل من 3 وهى غير ممكنة. فتحسب الأرباح فرديًا لكل ترابط ممكن (Combination)، وهى موضحة فى الجدول على النحو التالى :

إنتاج 3 وحدات		محصلة الأرباح		
فى الأسبوع C	فى الأسبوع D	من الأسبوع C	من الأسبوع D	إجمالى
0	3	- 4	20	16
1	2	8	11	19*
2	1	15	3	18
3	0	20	-4	16

منظومة ذات ثلاثة مراحل D و C و B . بالرجوع إلى الوراء شاملاً الأسبوع B، نصل إلى الجدول الموضح على النحو التالى :

عدد الوحدات المنتجة فى الأسبوع B	إجمالى الوحدات من الأسابيع D و C و B				
	7	8	9	10	11
0	40	38			
1	49	53	51		
2	45	50	54	52	
3	50*	57*	62*	66*	64*
4	35	44	51	56	60

وباستكمال الحسابات، نحصل على الأرباح كما هى موضحة فى الجدول التالى:

7 وحدات منتجة		محصلة الأرباح		
فى الأسبوع B	فى الأسبوع C و D	من الأسبوع B	من الأسبوع C و D	إجمالى
0	7	- 4	44	40
1	6	9	40	49
2	5	10	35	45
3	4	22	28	50*
4	3	16	19	35

منظومة ذات أربع مراحل D و C و B و A. بالرجوع إلى الوراء شاملاً الأسبوع A، نصل إلى الجدول الموضح على النحو التالى:

عدد الوحدات المنتجة فى الأسبوع C	أرباح من وحدات مجمعة من الأسابيع D و C و B و A
	11
0	60
1	70
2	74
3	77*
4	68

وتحدَّد الجدولة بالتتابع من الأسبوع A إلى الأسبوع D ، فيكون الإنتاج الأمثل فى الأسبوع A ، تاركًا (11 - 3 = 8) وحدات للأسبوع B و C و D، حتى نصل إلى الجدول التالى :

الأسبوع	الإنتاج بالوحدة	الأرباح
A	3	20
B	3	22
C	2	15
D	3	20
إجمالى	11	77

ليكون إجمالى الربحية 77، وبذلك يمكن اتخاذ القرارات المناسبة .

الفصل الثانى: نماذج مراقبة التكاليف

المنظومات الإنتاجية قلَّما تخلو من حاجتها إلى اتخاذ قرارات بشأن وضع سياسة خاصة بحسابات التكاليف. والحسابات هى فن تصنيف وتسجيل وتلخيص التدفقات المالية لتعطى بيانات ومعلومات مبوبة عن الأحداث المالية بقيمها وتواريخها. ونظم الحسابات تتباين باختلاف الغرض، فمنها: الحسابات المالية التى تمثل الأحداث المالية التى تمت، والحسابات الإدارية التى توجِّه الإدارة عند صنع القرارات، وحسابات التكاليف التى تساعد فى التخطيط والتشغيل والمتابعة. ويُعَدّ تحليل التكاليف (Cost Analysis) من الأمور الحيوية للإدارة. فمن وجهة نظر الإدارة يمكن تعريف كثير من أنواع التكاليف، ومنها ما هو على النحو التالى:

التكلفة الماضية والمفقودة (Past and Sunk Costs). التكلفة الماضية والتكلفة المفقودة يمكن التعبير عنهما بمثال علمى. اشترى مستثمر 100 سهم لإحدى الشركات بمبلغ LE 25 لكل سهم، دفع LE 85 مصاريف سمسرة، ثم باع الأسهم بسعر LE 35 لكل سهم، ودفع LE 105 للسمسرة، فربح LE 810. وعلى هذا تكون تكلفة الشراء تكلفة ماضية، ولا يوجد تكلفة مفقودة لأنه استعاد أمواله التى استثمرها فى شراء الأسهم.

التكلفة المستقبلية والفرصة (Future and Opportunity Costs). التكلفة المستقبلية هى المتوقع صرفها فى المستقبل مثل نفقات الصيانة أو نفقات التشغيل؛ فى حين أن تكلفة الفرصة هى تكلفة ضياع الفرصة للحصول على عائد لو استثمر مبلغ معين.

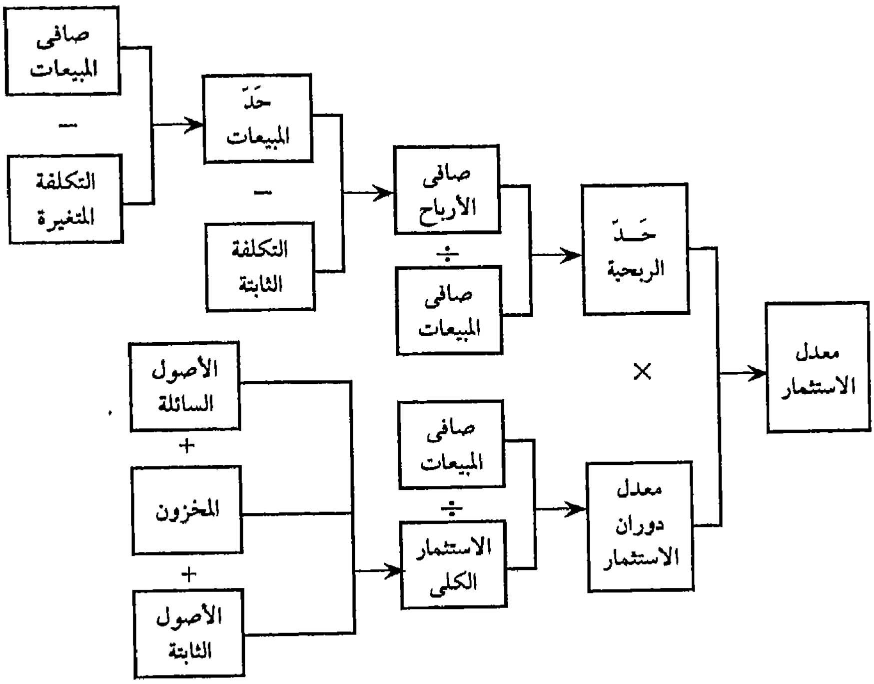
التكلفة المتوسطة والحدية (Average and Marginal Costs). التكلفة المتوسطة هى متوسط تكلفة وحدة واحدة من سلعة معينة، أى بقسمة إجمالى التكلفة على عدد الوحدات؛ فى حين أن التكلفة الحدية هى تكلفة زيادة إنتاج وحدة واحدة عن مستوى الإنتاج.

التكلفة الثابتة والمتغيرة (Fixed and Variable Costs). التكلفة الثابتة هى تكلفة الأصول كالمبانى والمعدات التى لا تتأثر بحجم الإنتاج؛ فى حين أن التكلفة المتغيرة تعتمد على حجم الإنتاج.

التكلفة الحقيقية والمعيارية (Actual and Standard Costs). التكلفة الحقيقية تضم النفقات المباشرة وغير المباشرة؛ فى حين أن التكلفة المعيارية هى التى تحسب على أساس معدل الخامات والعمالة والمصروفات غير المباشرة المستخدمة.

التكلفة المباشرة وغير المباشرة (Direct and Indirect Costs). التكلفة المباشرة هى تكلفة الخامات والعمالة والخدمات المباشرة التى تخص الإنتاج مباشرة؛ فى حين أن التكلفة غير المباشرة هى النفقات الإدارية وغيرها التى تصرف على بنود غير مباشرة.

وعلى هذا الأساس يمكن توضيح العلاقة بين مقاييس العمليات على مختلف مستويات التشغيل فى المؤسسات الإنتاجية، وبين المعايير الخاصة بالأداء المالى، وهى موضحة فى الشكل رقم (02 - 7).



شكل رقم (02 - 7): ترابط مقاييس العمليات على مختلف المستويات بمعايير الأداء المالى

نموذج نقطة التعادل:

يهدف نموذج نقطة التعادل إلى تحديد مستوى حجم إنتاج يكون عنده إجمالى إيرادات المبيعات يساوى إجمالى تكاليف الإنتاج، وهذا يعنى أن المنظومة تعمل بدون تحقيق ربح أو

خسارة. ويُعَدّ أسلوب تحليل نقطة التعادل هذه من الأساليب الرياضية البسيطة التى تستخدم عادة عند إجراء دراسات جدوى أولية لمشروعات قائمة أو مستقبلية للتعرف على مدى جدية المشروع. ويفيد هذا الأسلوب أيضًا فى مجالات أخرى مثل تسعير السلع أو الخدمات، وتقدير الأرباح والخسائر المتوقعة، وغيرها.

وتتطلع المنظومات الإنتاجية ـ سواء كانت تصنيعية أو خدمية ـ إلى عائد مجز عن استثماراتها. وهذا العائد أو الربح ينتج عن الفرق بين إجمالى الإيرادات الناتجة من مبيعات السلع المنتجة أو الخدمات المقدمة، وإجمالى التكاليف الناتجة من حاصل جمع التكلفة الثابتة (Fixed Cost)، والتكلفة المتغيرة (Variable Cost). والتكلفة الثابتة تشمل تكلفة الأصول (Assets Cost) من معدات ومبان وغيرها، وكذا النفقات (Expenditures) التى لا تتغير بتغير حجم الإنتاج. أما التكلفة المتغيرة فهى تكلفة الخامات والعمالة المباشرة لإنتاج السلعة أو تقديم الخدمة. وتتأثر إجمالى التكلفة المتغيرة بتغير حجم الإنتاج.

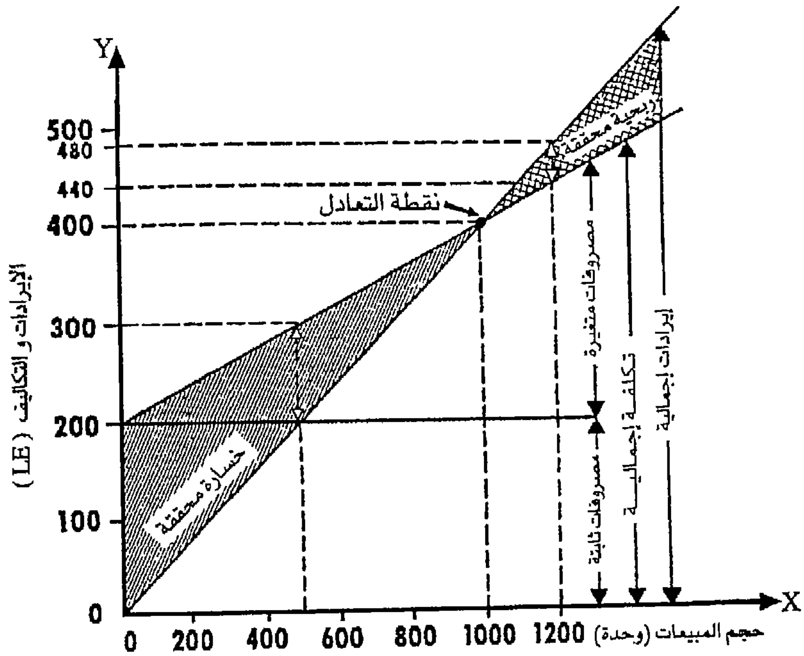
ويمكن توضيح هذه الفكرة بمثال بسيط: نفترض وجود كشك في أحد المدارس لإعداد وبيع السندوتشات، ويتطلب لإدارة هذا الكشك نفقات شهرية ثابتة قدرها LE 200، وهى تشمل مصاريف الإيجار والنظافة، ومصاريف الإنارة والمياه، ومرتبات العاملين والتأمينات. أما النفقات المتغيرة التى تتغير بعدد السندوتشات المعدة للبيع، فهى تشمل ثمن الخبز والحشو من جبن ولحوم، وتقدر بحوالى LE 0.20 لكل سندوتش. والمطلوب الإجابة عن الآتى:

* ما عدد السندوتشات التى يجب أن تباع لتحقيق نقطة التعادل؟
* ما سرعة زيادة الأرباح عندما تزيد المبيعات عن نقطة التعادل؟

ويمكن تمثيل هذه المشكلة برسم بيانى يكون فيه عدد السندوتشات المباعة هو الحدث الأفقى، وقيمتها هو الحدث الرأسى. ويتضمن هذا الرسم خطًا مستقيمًا يمثل التكاليف الثابتة وهى LE 200، بصرف النظر عن حجم بيع السندوتشات. أما التكاليف المتغيرة للسندوتش الواحد، فهى تتغير بتغير عدد السندوتشات المجهزة، فتصبح صفرًا إذا لم تجهز أى سندوتشات، وبالتالى لم يبع أى منها، بفرض عدم تلفها. فإذا بيع 500 سندوتش فى الشهر، تصل التكلفة المتغيرة إلى (100 = 0.20 x 500) أى LE 100 شهريًا؛ وإذا تم بيع 1,000 سندوتش فى الشهر، فتكون التكاليف المتغيرة (200 = 0.20 x 1,000) أى LE 200 شهريًا. والتكلفة الإجمالية عبارة عن حاصل جمع التكاليف الثابتة والتكاليف

المتغيرة. فإذا بيع 500 سندوتش فى الشهر، تصبح التكلفة الإجمالية (100 + 200 = 300) أى LE 300 شهريّا؛ وإذا بيع 1,000 سندوتش فى الشهر، تصبح التكلفة الإجمالية (200 + 200 = 400) أى LE 400 شهريّا.

وبفرض أن سعر بيع السندوتش LE 0.40، فإذا لم يُبع أى سندوتش فى الشهر، يصبح الإيراد الشهرى صفراً. أما إذا كان حجم المبيعات 500 سندوتش فى الشهر، فيصبح إيراد المبيعات (500 x 0.40 = 200) أى LE 200 شهريّا. وإذا كان حجم المبيعات 1,000 سندوتش فى الشهر، فيكون إيراد المبيعات (1,000 x 0.40 = 400) أى LE 400 شهريّا. وحيث إن سعر بيع السندوتش ثابت، فيمكن تمثيل إيرادات المبيعات بخط مستقيم، ويكفى نقطتين (x, y) لتحديد ميل الخط وهما (200 , 500) و (400 , 1,000). والرسم البيانى يوضح الخطوط المستقيمة التى تمثل التكاليف الثابتة، والتكاليف المتغيرة، والتكاليف الإجمالية، والإيرادات من المبيعات، وذلك فى الشكل رقم (03 - 7).



شكل رقم (03 - 7): نقطة التعادل على أساس سعر بيع معين للوحدة

ويتضح من هذا الرسم البيانى المعلومات والمؤشرات التالية:

* إذا تم بيع 500 سندوتش فى الشهر، يتحقق خسارة قدرها LE 100 شهريّا.

* إذا تم بيع 1,000 سندوتش فى الشهر، نصل إلى نقطة التعادل، دون ربح أو خسارة.

* إذا تم بيع 1,200 سندوتش فى الشهر، يتحقق ربح قدره LE 40 شهريّا.

ويمكن ترجمة الرسم البيانى إلى نموذج رياضى، وخاصة أن جميع العلاقات بين المتغيرات خطية. ولما كان الخط المستقيم يُمثَّل بالمعادلة الرياضية التالية:

$$Y = a + bx$$

حيث:

a تمثل نقطة تقاطع الخط المستقيم مع الإحداثى الرأسى.

b تمثل ميل الخط المستقيم بالرسم البيانى.

وبفرض أن الرسم البيانى يوضح:

a تمثل التكاليف الثابتة لإجمالى الوحدات المنتجة.

b تمثل التكاليف المتغيرة لكل وحدة منتجة.

c تمثل سعر بيع وحدة مباعة.

x تمثل عدد الوحدات المباعة.

فتصبح العلاقة الرياضية على النحو التالى:

* إجمالى التكاليف الثابتة والمتغيرة: $Y = a + bx$

* إجمالى الإيرادات من المبيعات: $R = cx$

وتصبح نقطة التعادل على النحو التالى:

$$Y = R, \quad or \quad cx = a + bx, \quad or \quad x = \frac{a}{c - b}$$

ولضمان الحصول على ربحية مقدارها d، يصبح عدد الوحدات المباعة كالتالى:

$$R = Y + d, \quad or \quad cx = a + bx + d, \quad or \quad x = \frac{a + d}{c - b}$$

وتحسب نقطةالتعادل للمثال السابق على النحو التالى:

$$x = \frac{a}{c - b} = \frac{200}{0.40 - 0.20} = 1,000$$ سندوتش

ولضمان الحصول على ربحية مقدارها LE 40 فى الشهر، يتضح أن عدد السندوتشات التى يجب أن تباع هى على النحو التالى:

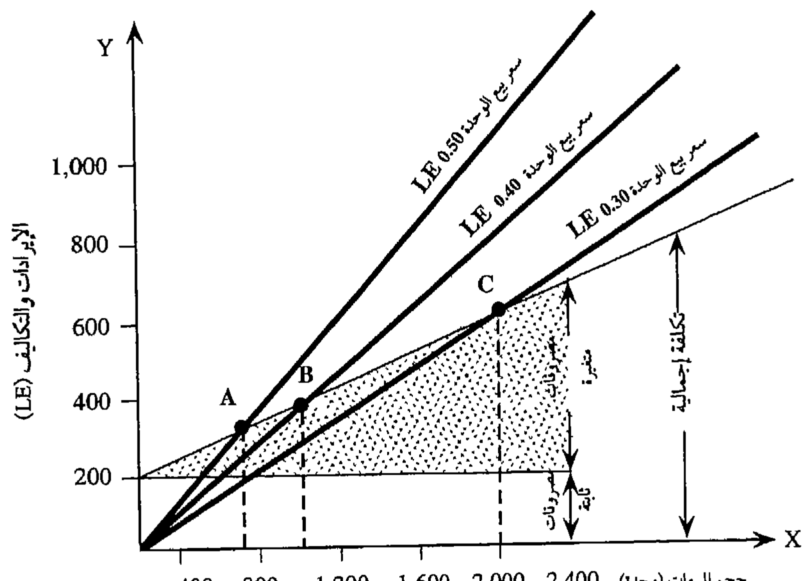
$$x = \frac{a + d}{c - b} = \frac{40 + 200}{0.40 - 0.20} = \frac{240}{0.20} = 1,200$$ سندوتش

ويتضح من العلاقات الرياضية السابقة، أن كل سندوتش مبيع يساهم فى تغطية التكاليف الثابتة بمقدار معين، وهو قيمة مساهمة الوحدة فى تغطية التكاليف الثابتة التى تساوى سعر البيع للوحدة ناقصًا تكلفة الوحدة المتغيرة، وينتج عنه العلاقات الرياضية التالية :

$$\text{نقطة التعادل بالوحدة} = \left(\frac{\text{التكاليف الثابتة}}{\text{قيمة مساهمة الوحدة فى تغطية التكاليف الثابتة}} \right)$$

$$\text{نقطة التعادل بالقيمة} = \left(\frac{\text{التكاليف الثابتة} \times \text{سعر بيع الوحدة}}{\text{قيمة مساهمة الوحدة فى تغطية التكاليف الثابتة}} \right)$$

ويمكن الاستفادة من نموذج نقطة التعادل هذا بتحليل إمكانية تغيير سعر البيع. والرسم البيانى الموضح فى الشكل رقم (04 - 7) يبين مدى تأثير زيادة سعر البيع للسندوتش إلى LE 0.50، إذ تنخفض نقطة التعادل إلى 667 سندوتش.



شكل رقم (04 - 7): نقاط التعادل على أساس تباين أسعار بيع الوحدة

وسيؤدى ارتفاع سعر البيع إلى فقدان المبيعات المتوقعة. ويشير هذا الرسم البيانى إلى أنه إذا كانت نقطة التعادل 1,200 سندوتش عندما بيع بسعر LE 0,40، فإنه يمكن تحمل فقدان حوالى ثلث المبيعات، إذا زاد سعر السندوتش إلى LE 0.50، ويبقى الربح على ما هو

عليه . أما إذا انخفض سعر بيع السندوتش إلى LE 0.30، فسترتفع نقطة التعادل إلى 2000 سندوتش . ولضمان ربحية مقدارها LE 40 ، فيجب أن يكون إجمالى البيع 2400 سندوتش . ويمكن توضيح هذه المتغيرات فى الجدول رقم (03 - 7) :

جدول رقم (03 - 7): بدائل نقاط التعادل

البدائل	تكلفة السندوتش المتغيرة	سعر بيع السندوتش	عدد الوحدات المباعة عند نقطة التعادل	عدد الوحدات المباعة للحصول على LE 40
البديل الأول	0.20	0.30	2,000	2,400
البديل الثانى	0.20	0.40	1,000	1,200
البديل الثالث	0.20	0.50	667	800

ويمكن إجراء تعديلات فى الرسم البيانى الذى يمثل نموذج نقطة التعادل ، بتمثيل دالة التكلفة لتكون واقعية ، سواء بمنحنى أو بخط مع تخفيض الميل .

ونلخص مميزات وعيوب نماذج نقطة التعادل عند تطبيقها فى الحياة العملية . فالمميزات يمكن حصرها على النحو التالى :

* نموذج نقطة التعادل يعطى صانع القرار مجموعة مرنة تمثل مستوى الإيرادات والتكاليف المتوقعة تحت مختلف الشروط .

* نموذج نقطة التعادل يعطى صانع القرار بدائل تمثل برامج مختلة، يمكن تحليلها، واختيار الأنسب .

* نموذج نقطة التعادل يحتاج إلى تجميع وتحليل بيانات معينة فى صور متكاملة مثل أحجام الإنتاج ، وأسعار البيع ، وتكاليف الإنتاج ، وخلائط المنتجات ، وبذلك يمكن مراقبة بنود الموازنة ، وخاصة النفقات حتى يمكن ترشيدها .

* نموذج نقطة التعادل يساعد على تحديد أنسب أسعار البيع ، بتمثيل بدائل مختلفة بأسعار بيع متباينة .

أما العيوب التى قد تظهر فى نماذج نقطة التعادل خلال التطبيق العملى، فيمكن حصرها على النحو التالى:

* نموذج نقطة التعادل يمثل فترة زمنية قصيرة، وصورة ثابتة (مستقرة أى غير ديناميكية) للعلاقات بين التكاليف والإيرادات، وهذا يخالف الواقع.

* نموذج نقطة التعادل يصعب استخلاص قياس النواتج منه لخليط متغير من المنتجات.

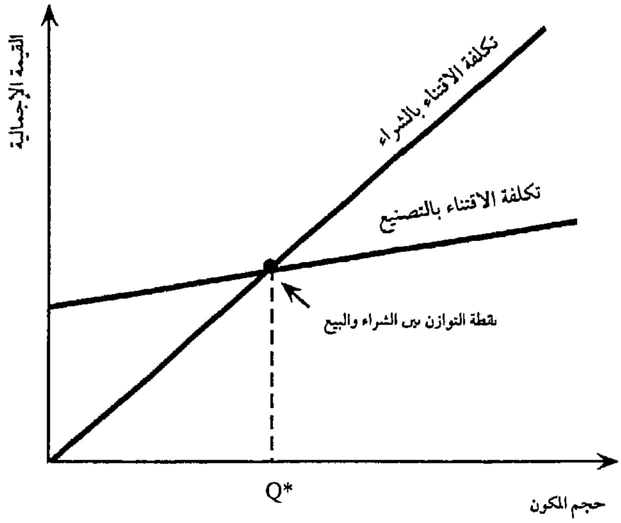
* نموذج نقطة التعادل يحتاج إلى معلومات دقيقة يصعب الحصول عليها، وتستخدم فروض معينة، مما قد يؤدى إلى نتائج غير عملية، وتطبق تحت شروط منافسة تعمل على أساسها المؤسسات الإنتاجية الحديثة.

ومما هو جدير بالذكر، أن نموذج نقطة التعادل قد أنقذنى من ضياع جزء من أموالى كنت سأساهم به فى أحد المشروعات الاستثمارية. ففى عام 1977 خلال عصر الانفتاح الساداتى، قدم أحد المصريين المقيمين فى سويسرا ليروج لمشروع تأسيس شركة لإنتاج وتسويق ساعات يدوية خاصة، تخدم المسلمين فى معرفة أوقات صلاتهم، وكذا الملاحين والفلكيين فى تأدية أعمالهم؛ وقدّم دراسة جدوى تفيد أن المشروع مربح جداً. والحق يقال إن العرض كان مغرياً، وكنت على وشك الانضمام إلى مجموعة المؤسسيين. ولكنى آثرت التروي بعد اجتماع صاحب معظم الليل، واستعرت دراسة الجدوى لفترة وجيزة لتحليل البيانات الخاصة بتدفقات الإيرادات والنفقات وأسعار البيع المتوقعة، والتكاليف الثابتة والمتغيرة المقدرة. وقد اتضح لى أن نقطة التعادل قد حسبت على أساس حجم مبيعات وهمى، وأسعار البيع مُغالى فيها. وعلى أساس تحليل نموذج نقطة التعادل، تبين توقع فشل هذا المشروع، وضياع الأموال المستثمرة، فانسحبت من المشروع بسلام.

نموذج نقطة التوازن:

يهدف نموذج نقطة التوازن إلى اتخاذ قرارات بخصوص تصنيع أحد مكونات السلع داخل المؤسسة أو شرائها من موردين خارج المؤسسة. والقرار بالنسبة للتصنيع أو الشراء يشمل اعتبارات اقتصادية وغير اقتصادية. فمن الناحية الاقتصادية، نرى أنه إذا كانت المؤسسة لديها إمكانات وسعات تصنيعية كافية، وأن قيمة المكون عالية لتغطية التكاليف

المتغيرة فى التصنيع، بالإضافة إلى المساهمة فى جزء من التكلفة الثابتة، فإنه يؤخذ القرار بالتصنيع. ويمكن توضيح هذه العوامل الاقتصادية فى الشكل رقم (05 - 7).



شكل رقم (05 - 7): عوامل اقتصادية مؤثرة فى قرار الشراء أو التصنيع

يتضح من ذلك أن الأحجام المنخفضة المطلوبة من هذه المكونات ترحب بقرار الشراء. أما العوامل غير الاقتصادية أو الأقل اقتصاديًا التى تؤثر على قرار التصنيع أو الشراء، فيمكن توضيحها بالنسبة للمدخلات والعمليات والمخرجات، وذلك على النحو التالى:

بالنسبة للمدخلات، يجب مراعاة العوامل التالية:

* توافر أموال كافية وعمالة ماهرة.

* توافر توريد وحدات بأعداد كافية من الموردين.

* رغبة فى مصادر بديلة للتوريد.

بالنسبة للعمليات، يجب مراعاة العوامل التالية:

* أفضلية العاملين واستقرارهم.

* رغبة فى تنمية نشاط البحث والتنمية.

* احتياج إلي ضمان سرية المعاملات .

* رغبة فى التوسع فى خطوط إنتاج جديدة .

* احتياج إلى ضبط أوقات التسليم المتقدمة (Lead Time) .

* تأثير على مرونة الإنتاج (Flexibility) .

بالنسبة للمخرجات، يجب مراعاة العوامل التالية:

* احتياج إلى ضبط الجودة (Quality) أو الاعتمادية (Reliability) .

* تأثير على سلوك وتصرفات العملاء .

ويمكن شرح العوامل الاقتصادية بمثال عددى . نفترض أن مؤسسة إنتاجية تنتج أجزاء يمكن توزيعها فى جميع أنحاء الدول العربية ، ولديها فرصة لتصنيع علبة بلاستيك لتغليف هذا الجزء عند شحنه فى حاويات ، وكانت هذه العلبة تُشترى من مورد بسعر LE 0.70 للعلبة الواحدة . وتعتمد الطلبات السنوية من هذه العلبة على نواحٍ اقتصادية موضحة على النحو التالى :

حجم الطلب	نسبة الفرصة
20,000	% 10
30,000	% 30
40.000	% 40
50,000	% 15
60,000	% 05

وفى حالة اتخاذ قرار بتصنيع العلبة ، يجب تحديد مكان التصنيع ، ثم شراء ماكينة تشكيل بلاستيك بتكاليف ثابتة تقدر بمبلغ LE 8,000 وتكاليف متغيرة من خامات وعمالة ومصاريف غير مباشرة تقدَّر بمبلغ LE 0.50 للعلبة الواحدة . والمطلوب اتخاذ قرار بالتصنيع أو الشراء ، وكذا حجم الإنتاج الذى سيؤدى إلى ربحية من التصنيع داخليًا أكثر من الربحية الناتجة عن الشراء من موردين خارجيين . ويمكن حساب حجم الطلب المتوقع $E(D)$ على أساس نسب الفرص أى الاحتمالات ، وهى على النحو التالى :

$$E(D) = (0.10)(20{,}000) + (0.30)(30{,}000) + (0.40)(40{,}000) + (0.15)(50{,}000) + (0.50) + (60{,}000)$$
$$= 37{,}500$$

وبالتالى فالمؤسسة ستقوم بإنتاج هذه العلب فى مصانعها، إذا كانت التكاليف المتوقعة للتصنيع أقل من التكاليف المتوقعة للشراء، وهى على النحو التالى:

التكاليف المتوقعة للتصنيع = (التكاليف الثابتة) + {(التكاليف المتغيرة للوحدة) (عدد الوحدات المطلوبة)}

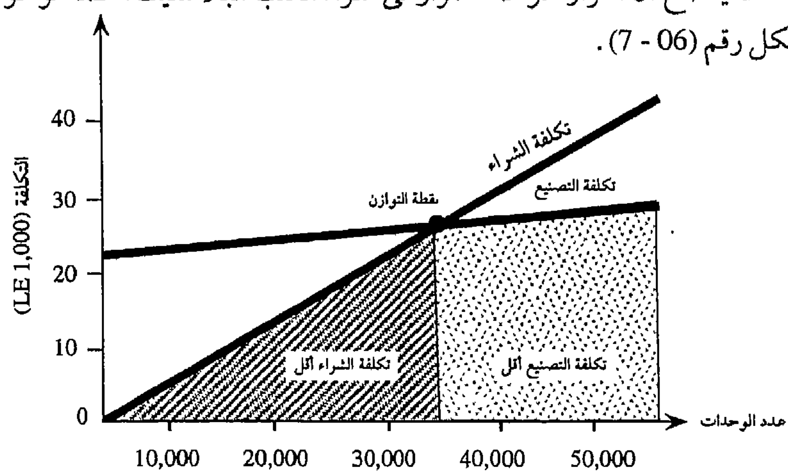
= 8,000 + (0.50) (37,500

= LE 26,750

التكاليف المتوقعة للشراء = (سعر الوحدة) (عدد الوحدات المطلوبة)

= (0.70) (37,500) = LE 26,250

من ذلك يتضح أن القرار هو الاستمرار فى شراء العلب البلاستيك، كما هو موضح فى الشكل رقم (06 - 7).



شكل رقم (06 - 7): نقطة التوازن بين التصنيع والشراء

فهــذه هى نقطة التـوازن التى يصبح عندهـا تكاليف التـصنيع مـساوية لتكاليـف الشراء وهى على النحو التالى :

تكلفة التصنيع = تكلفة الشراء

(حجم الطلب) (تكلفة التصنيع) = (حجم الطلب) (سعر الشراء)

$$0.70\ V = 8{,}000 + 0.50\ V$$

$$0.20\ V = 8{,}000$$

فيكون حجم الطلب عند نقطة التوازن هو V = 40,000 وحدة . ويكون القرار الاقتصادى هو تصنيع العلبة فى المؤسسـة ، بشـرط أن يكون حـجم الطلب 40,000 علبـة أو أكـثـر ، ويفضل الشراء من موردين إذا كان أقل من ذلك .

الفصل الثالث: نماذج مراقبة الجودة

المنظومات الإنتاجية قلّما تخلو من حاجتها إلى اتخاذ قرارات بشأن وضع سياسة خاصة بمراقبة الجودة. والجودة هى درجة وفاء المنتج لاحتياجات ورغبات المستهلك، وهى مقياس لمدى مطابقة سلعة أو خدمة لأماميات مُوصفة توصيفًا دقيقًا، وترتبط هذه الأماميات بالوقت أو الخامة أو الأداء أو الاعتمادية أو أى خواص يمكن قياسها. وترمز الجودة فى المؤسسات الخدمية إلى جودة الخدمة المقدمة للعملاء. أما فى المؤسسات التصنيعية، فترمز الجودة إلى عوامل موضوعية مثل المقاسات المختلفة، أو المكونات الكيمائية، أو المواد الأولية، أو الصلابة والقوة، أو التشطيب للسطوح؛ أو عوامل سطحية أخرى مثل سطوح الدهانات، أو تجريحات سطحية، أو نقاوة السطوح المدهونة، أو أى عيوب ممكنة تقلل من المظهر الطبيعى للمنتج.

ومراقبة الجودة (Quality Control) هى محاولة تحديد وتحليل ومعالجة مشكلات الجودة، وينتج عن هذا خفض عدد المعيب، وتقليل مرات الغياب، وزيادة إنتاجية العامل. وتتضح مراقبة الجودة فى المؤسسات التصنيعية فى عدة مراحل على النحو التالى:

* مستوى السياسات فى تحديد مستوى جودة السوق المطلوب اقتحامه.

* مستوى الجودة الموصَّفة خلال مراحل التصميم الهندسى، بغية الوصول إلى مستويات أهداف تسويقية.

* مستوى الجودة الموصَّفة للمواد الأولية وعمليات الإنتاج خلال تطبيق سياسات الجودة ومواصفات التصميم.

* مستوى الجودة الموصَّفة خلال التركيب والاستخدام التى تؤثر على الجودة النهائية فى مجالات ضمان الجودة والأداء.

ولا تملى الجودة على صانع السلعة، أو السعر الذى دفع لها، أو أفضلية الشخص الذى يقتنيها أو يستعملها. لذلك فإن المنتجات الباهظة الثمن ليست بالضرورة ذات جودة عالية، وأن السلع الرخيصة الثمن ليست بالضرورة ذات جودة منخفضة.

أما ضمان أو تأكيد الجودة (Quality Assurance) فهى منظومة تضم السياسات والإجراءات والإرشادات التى تؤسس وتصون أماميات موصفة لجودة سلعة معينة.

وتكلفة مراقبة الجودة تعتمد على عدد من العوامل منها: تكلفة التفتيش، وتكلفة المراقبة، وتكلفة السلع المعيبة. ومستوى الأداء فى المنظومات التصنيعية يقاس باعتمادية (Reliability) السلعة المباعة وكفاءتها (Efficiency)؛ فى حين أنه يقاس فى المنظومات الخدمية باعتمادية (Dependability) الخدمة المقدمة وفاعليتها (Effectiveness). وقد قيل إن الجودة تُخْلَق فى السلعة وهى ما زالت فكرة، ثم تنمو معها نطفة ثم علقة ثم مضغة حتى تُصبح خلقًا سويّا.

و الضبط الإحصائى لجودة الإنتاج يُعَدّ طريقة بيان مدلولات التفتيش الفنى، حتى يمكن إعطاء صورة عن جودة الإنتاج أثناء عمليات التصنيع، ومن ثَمّ يمكن أخذ الخطوات الفعالة لتصحيح أخطاء التصنيع أولاً بأول، ومنع تصنيع أى منتج معيب. ويعتمد مفهوم المبادئ الإحصائية لضبط جودة الإنتاج على أن أى عملية تشغيل مهما بلغت دقتها، فلابد من حدوث بعض التغيرات فى حالة الإنتاج المتكرر. ويتوقف مقدار هذه التغيرات على دقة الأداء لعمليات التشغيل. فإذا كانت عمليات التشغيل على درجة عالية من الدقة، فدرجة جودة المنتجات عمومًا تكون فى حدود تفاوت التصنيع المسموح به. أما إذا كانت عمليات التشغيل غير دقيقة، فقد تتباين مقاسات ودرجات جودة المنتج، ويكون من المحتمل وقوع بعض هذه المقاسات خارج حدود التفاوت المسموح به، وتصبح بذلك منتجات معيوبة. وتُستعمل خرائط ضبط الإنتاج للتأكد من أن الإنتاج لا يقع خارج الحدود المسموح بها.

فاستخدام الضبط الإحصائى لجودة الإنتاج يساعد على رفع مستوى الجودة بدون زيادة فى عمليات وتكاليف التفتيش، كما تؤدى إلى جودة أعلى عن طريق تقليل المضيعات، ويؤدى إلى انتظام عمليات التصنيع عن طريق التخلص من الجهد الضائع فى تشغيل منتجات بها عيوب تتطلب إصلاحات معينة حتى يمكن استخدامها. وباختصار فالهدف هو الحصول على أعلى جودة من التخلص من الهالك أو الضائع فى المواد الأولية أو المنتجات النصف مصنعة، ومجهودات العمالة، وأوقات التشغيل. وعندما يكون التفتيش

مائة فى المائة، يصبح غير اقتصادى أو غير ممكن. فالقرار لقبول أو رفض الكمية يكون على أساس أخذ عينة ذات حجم معين n، ونسبة المعيوب المسموح به في العينة c.

وخواص الجودة تنقسم إلى خواص عوامل (Attributes)، وخواص متغيرات (Variables)، وأخذ العينة من كل منهما يتصف بالنحو التالى :

* العوامل تعتمد على توصيف كيفى للمنتج (جيد أو ردىء)، وتقدر احتمالات المعيوب فى المجتمع (Parent Population) من بعض التوزيعات الاحتمالية المتقطعة (Discrete)، كما هو الحال فى التوزيعة الثنائية (Binomial Distribution)، وتوزيعة بواسون (Poisson Distribution).

* المتغيرات تعتمد على توصيف كمى للمنتج (بالوزن أو الوقت أو الحجم أو المساحة)، وتقدر احتمالات العيوب فى المجتمع من بعض التوزيعات الاحتمالية المستمرة (Continuous)، كما هو الحال فى التوزيعة المنتظمة (Uniform Distribution)، والتوزيعة الطبيعية (Normal Distribution)، والتوزيعة الأسِّية (Exponential Distribution).

وعادة ما يتفق المنتج والمستهلك على خطة معينة لكيفية أخذ عينة من السلعة المصنعة أو الموردة، بحيث تقلل من تكلفة عملية التفتيش. وفى ذلك يمكن تعريف مخاطر المنتج (Producer's Risk,α) ويرمز إليها بالخطإ نوع I (Type I Error) وهى المخاطرة فى الحصول على عينة ذات نسبة من الوحدات المعيوبة أعلى من عدد المعيوب فى الدفعة كلها، وعليه فترفض دفعة جيدة. أما مخاطر المستهلك (Consumer's Risk, β) فيرمز إليها بالخطإ نوع II (Type II Error)، وهى المخاطرة فى الحصول على عينة ذات نسبة من الوحدات المعيوبة أقل من عدد المعيوب فى الدفعة كلها، وعليه تقبل دفعة رديئة.

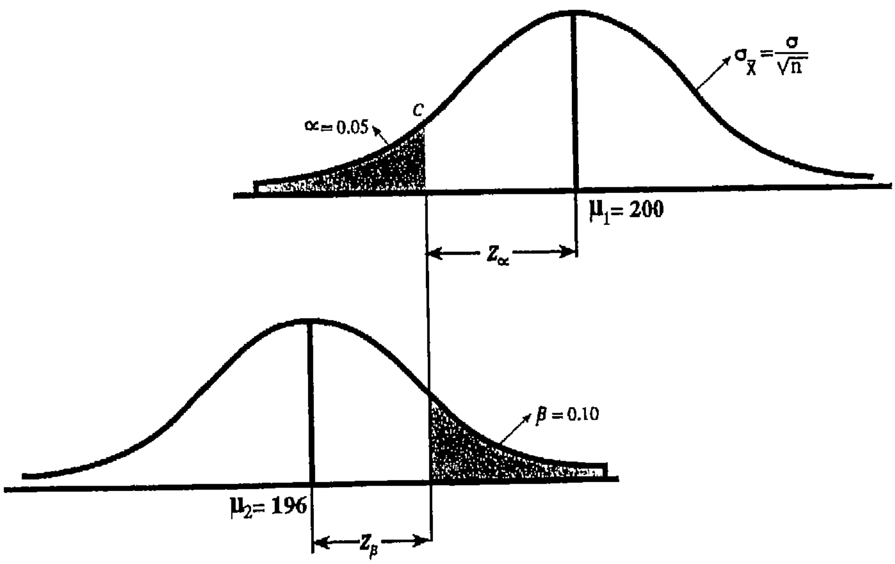
وبتحديد قيمة مخاطر المنتج α عند مستوى جودة مقبول لدفعة جيدة (Acceptable Quality Level, AQL)، وقيمة مخاطر المستهلك β عند مستوى جودة مقبول لدفعة رديئة (Lot Tolerance Percent Defective, LTPD)، فإنه يمكن تصميم خطة لأخذ عينة من دفعات السلعة، ذات حجم معين n، ونسبة المعيب المسموح به فى هذه العينة c. ويمكن الرجوع إلى الجداول التى تحدد خطط أخذ العينات بقيم مناسبة لكل من n و c.

نموذج منحنى التشغيل:

منحنى خواص التشغيل (Operating Characteristic Curve, OC) هو توصيف خطة معينة لأخذ عينات للتفتيش عليها، مع تحديد حجم العينة n، ونسبة المعيب المسموح به في العينة c. ويوضح هذا المنحنى احتمال قبول الخطة لدفعات من السلعة ذات مستويات جودة ممكنة.

ولتوضيح الفكرة، نفترض أن مصنعًا ينتج كتلاً من الصلب التيتانيوم المسبوك. ونظراً لتباين عملية الصب، يتراوح وزن الكتل بانحراف معياري قدره $\sigma = 0.8$ كيلوجرام. وتُعَدّ دفعات الكتل التى تزن 200 كيلوجرام ذات جودة مقبولة، والتى تزن 196 كيلوجرام ذات جودة رديئة. والمطلوب تصميم خطة لأخذ عينات ذات حجم معين n، ونسبة معيب معينة c مسموح به فى هذه العينة، بحيث تفى بمخاطر المنتج والمستهلك، أى احتمال قبول دفعة من الكتل بمتوسط 200 كيلوجرام هو $\alpha = 0.05$؛ واحتمال قبول دفعة من الكتل بمتوسط 196كيلوجرام هو $\beta = 0.10$.

والشكل رقم (07 - 7) يمثل منحنيات خواص التشغيل المبين بها مخاطر المنتج α ومخاطر المستهلك β، وكذا نسبة المساحة تحت منحنى التوزيعة الطبيعية μ إلى النسبة، وترمز بالحرف Z_α و Z_β، وتعنى الأخطاء المعيارية عند α وβ على التوالى:



شكل رقم (07 - 7): منحنيات خواص التشغيل

ويمكن تحديد نسبة المعيب المسموح به فى العينة c على أساس Z_α و Z_β، ثم حل المعادلتين لمعرفة قيم c، ومنها يمكن معرفة n، وبذلك نكون قد تم تصميم الخطة لأخذ العينات على النحو التالى:

$$\begin{pmatrix}\text{حدود}\\ \text{المفروض}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\dfrac{\text{الانحراف المعيارى}}{\text{الجذر التربيعى لحجم العينة}}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\text{الخطأ المعيارى}\\ \text{عند } \alpha\end{pmatrix} \mp \begin{pmatrix}\text{متوسط}\\ \text{وزن الكتل}\end{pmatrix}$$

أى

$$c = Z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} - \mu_1$$

و

$$c = Z_\beta \frac{\sigma}{\sqrt{n}} + \mu_2$$

وباستخدام الجدول رقم (A - 09) لمساحات واقعة تحت التوزيعة الاحتمالية الطبيعية فى الملحق الإحصائى «جداول رياضية وإحصائية»، نجد البيانات كالتالى:

* عند $\alpha = 0.05$، تكون مساحة التوزيعة الطبيعية 0.450، ويعطى الجدول $Z_\alpha = 1.645$.

* عند $\beta = 0.10$، تكون مساحة التوزيعة الطبيعية 0.400، ويعطى الجدول $Z_\beta = 1.280$.

فتصبح المعادلتان سالفتا الذكر على النحو التالى:

$$c = 1.645 \frac{0.8}{\sqrt{n}} - 200$$

و

$$c = 1.280 \frac{0.8}{\sqrt{n}} + 196$$

وبحل هاتين المعادلتين، نصل إلى النتائج التالية:

* حجم العينة $n = 34$ كتلة صلب.

* حدود المرفوض $c = 197.7$ كيلوجرام.

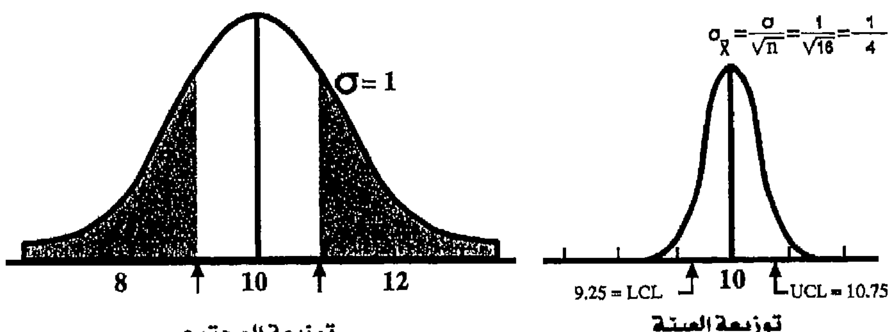
وبذلك يكون تصميم خطة العينات على أساس 34 كتلة، وتحديد متوسط وزن الكتلة على أساس قبول الدفعة إذا كان متوسط الوزن $\bar{x} > 197.7$ كيلوجرام، وخلاف ذلك ترفض الدفعة.

نموذج خرائط الجودة:

خرائط الجودة (Control Charts) تُعَدّ أسلوبًا بيانيًا يستخدم فى متابعة خواص جودة مختارة لعمليات إنتاجية فى مدى فترة زمنية معينة . وخرائط جودة المتغيرات مثل المتوسط x والمدى R تستخدم فى متابعة بيانات مستمرة كوزن أو مقاس منتج معين . أما خرائط جودة العوامل مثل النسبة P والعدد C ، فتستخدم فى متابعة بيانات عددية كنسبة ، أو عدد المعيوب فى منتج معين . وتقع معظم العمليات ضمن حدود مسموحات طبيعية عريضة ، بحيث تقع الملاحظات بين حدود الجودة العليا (Upper Control Limit, UCL) ، وحدود الجودة السفلى (Lower Control Limit, LCL) . وهذان النوعان من حدود الجودة ما هما إلا إطاران من خلالهما نتوقع للعينات الإحصائية أن تختلف نظرًا للعشوائيات المستخدمة .

ولتوضيح الفكرة نقدم مثالاً بسيطًا ، نفترض أنه فى حالة عملية سبك معدن دقيق لتصنيع ريش مروحة معدنية ، قد أسست خريطة الجودة لتوزيعة طبيعية بمتوسط $\mu = 10$ ، وانحراف معيارى $\sigma = 1$. فإذا كانت حدود الجودة لحجم عينة $n = 16$ ، خططت على أساس الأخطاء المعيارية $Z = \pm 3$ ، فالمطلوب تحديد القيم الفردية فى توزيعة المجتمع التى قد تقع خارج حدود الجودة .

والشكل رقم (08 - 7) يمثل كلا من توزيعة المجتمع (Population) ، وتوزيعة العينة (Sample) ، مبينة حدود الجودة العليا UCL ، وحدود الجودة السفلى LCL .



شكل رقم (08 - 7): توزيعات المجتمع والعينة

يتضح من توزيعة العينة أنه يمكن حساب حدود الجودة على أساس العلاقة التالية :

$$UCL = \bar{x} + Z\sigma_s$$

$$LCL = \bar{x} - Z\sigma_s$$

حيث إن متوسط العينة $\mu = \bar{x}$ ، والانحراف المعيارى للعينة σ يحسب على أساس العلاقة الرياضية التالية :

$$UCL = 10 + (3)(^1/_4) = 10.75$$

$$LCL = 10 - (3)(^1/_4) = 9.25$$

وعند تحديد حدود الجودة على توزيعة المجتمع فى الشكل السابق، يمكن حساب نسبة المساحة تحت التوزيعة الطبيعية من خلال حدود الجودة العليا (UCL) على النحو التالى :

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{10.75 - 10}{1} = 0.75$$

وبالرجوع إلى الجدول رقم (A - 09) لمساحات واقعة تحت التوزيعة الاحتمالية الطبيعية فى الملحق الإحصائى «جداول رياضية وإحصائية»، نجد أن المساحة التى ترمز للقيمة 0.75 أى $P(Z)$ هى $P(0.75) = 0.273$.

وعند تحديد حدود الجودة على توزيعة المجتمع فى الشكل السابق، يمكن حساب نسبة المساحة تحت التوزيعة الطبيعية من خلال حدود الجودة السفلى (LCL) على النحو التالى :

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{9.25 - 10}{1} = -0.75$$

وبالرجوع إلى الجدول (A - 09) السالف الذكر، نجد أن المساحة التى ترمز للقيمة 0.75 أى $P(Z)$ هى $P(-0.75) = 0.273$.

بجمع المساحتين نحصل على 0.546، فتصبح المساحة خارج حدود الجودة هى (0.546 - 1.000 =0.454) أى أن حوالى 45% من جميع الملاحظات الفردية قد تقع خارج حدود الجودة.

تمارين تحكم المنظومات

آثرت أن أنتقى مجموعة من التمارين العملية والتطبيقية فى مجال نمذجة تحكم المنظومات، حتى يمكن تفهم إجراءات معالجة مشكلات التحكم، واستيعاب أفكار تشكيل منظومات التحكم، وتدارس أصول تمثيل نماذج التحكم، وهى على النحو التالى :

نموذج معدل الإنتاج:

7-01 يرغب أحد موردى المعدات فى تركيب عدد من الأفران لإنتاج 400,000 قطعة من المسبوكات فى السنة. ويقدر وقت تخمير المسبوكة الواحدة بدقيقتين، فى حين أن إنتاج الأفران تشمل 6% قطع معيبة. أوجد عدد الأفران المطلوبة، مع العلم بأن الفرن يعمل 1,800 ساعة/ سنة.

7-02 تنوى إحدى شركات تصنيع محركات الصواريخ التوسع فى إنتاج المحركات، بإضافة أفران المعالجة الحرارية ذات سعة طن واحد. وتحتاج عملية معالجة مجموعة من المحركات التى تزن طنًا واحدًا إلى نصف ساعة، ويشمل ذلك عمليات التحميل والتفريغ. ونظرًا لقيود فى الطاقة المتوافرة، يعمل الفرن 80% من الوقت فقط. والمطلوب معالجة محركات تزن 16 طناً كل وردية (8 ساعات). وتصل كفاءة هذه العملية 50% من سعة المنظومة.

1 - حدِّد عدد الأفران المطلوبة.

2 - قدِّر الوقت الضائع لكل فرن.

7-03 تعمل إحدى الشركات فى تحميض الأفلام، وتخطط لطبع 200 صورة فى الساعة. وتأخذ عملية التجهيز والطبع نظريًا دقيقتين لكل صورة، مع العلم بأن كفاءة

المعامل 90% فى المتوسط، بالإضافة إلى أن 5% من الصور يجب أن يعاد طبعها لرداءتها. ويعمل جهاز تكبير الصور 70% من إجمالى الوقت.

1 - حدِّد السعة المطلوبة للمنظومة فى طبع الصور فى الساعة.

2 - أوجد متوسط الإنتاج المتوقع فى الساعة من جهاز تكبير الصور.

3 - احسب عدد أجهزة تكبير الصور المطلوبة.

7-04 ترغب إحدى شركات إنتاج «التيشرت» فى طبع 30,000 قطعةشهريًا، وتعمل الشركة 200 ساعة/ شهر. وتعمل ماكينة الطباعة 70% من إجمالى الوقت، ويشتمل الإنتاج على 4% معيب. وتأخذ عملية الطباعة دقيقة واحدة لكل قطعة. ونظرًا لضبط الماكينة وتنظيفها وتوقفها أحيانًا، تعمل الماكينة بكفاءة 90%. حدِّد عدد ماكينات الطباعة المطلوبة؟

نموذج جدولة الإنتاج:

7-05 تتكون إحدى الورش لتصنيع النماذج الخشبية من 6 مراكز للتشغيل M,N, T,V, W,Z. وقد وصل الشركة 5 أوامر شغل يجب تصنيعها خلال هذه المراكز فى الأسبوع التالى، وأن الساعات المطلوبة لكل أمر شغل وفى كل مركز، وكذا السعة الإنتاجية لهذه المراكز بالساعة، موضحة فى الجدول التالى:

أوامر التشغيل	الساعات المطلوبة فى كل مركز تشغيل					
	N	M	T	V	W	Z
A	4	3	-	-	7	5
B	6	9	13	-	3	4
C	12	-	7	10	5	7
D	6	4	-	-	-	8
E	11	2	-	9	8	4
السعة الإنتاجية	40	20	20	20	20	20

1 - هل سعة الورشة كافية لتشغيل جميع أوامر التشغيل؟

2 - رتِّب أوامر الشغل طبقًا لمعيار أطول وقت تشغيل بما فيها الوقت اللازم لنقل أمر الشغل من مركز إلى مركز آخر، مع العلم بأن وقت النقل من مركز إلى آخر يحتاج إلى 4 ساعات لكل أمر شغل.

7-06 تعمل إحدى الورش الإنتاجية فى تصنيع أوامر شغل معينة، وتجدول هذه الشركة أوامر الشغل على أساس قواعد الأولوية، والبيانات الخاصة بأوامر الشغل موضحة فى الجدول التالى :

رقم أمر الشغل	أيام السنة		عدد أيام الإنتاج المطلوبة
	تاريخ استلام أمر الشغل	تاريخ تسليم أمر الشغل جاهز	
A	317	368	20
B	319	374	30
C	320	354	10
D	326	373	25
E	333	346	15

أوجد جدولة أوامر الشغل طبقا لقواعد الأولوية التالية :

1 - أولوية تاريخ تسليم (Earliest Due Date) .

2 - أقصر وقت شغل (Shortest Processing Time) .

3 - أقل وقت راكد (Least Slack Time) .

4 - القادم أولاً يُخدم أولاً (First Come, First Served) .

نموذج نقطة التعادل:

7-07 تعمل إحدى الشركات فى الدعاية لتوزيع تذاكر مباريات الألعاب الرياضية. وقد أجَّرت الشركة إستاد كرة القدم بإحدى ضواحى المدينة الذى يسع 40,000 مقعد. وتباع التذاكر فى المتوسط بمبلغ LE 14 لكل تذكرة. فإذا كانت التكلفة الثابتة لكل فصل رياضى به 4 مباريات LE 720,000، والتكلفة المتغيرة LE 2.00 لكل متفرج، أوجد نقطة التعادل فى صورة عدد المقاعد لكل مباراة .

7-08 تقوم إحدى الورش الميكانيكية بتشغيل عمليتين X و Y . ويحتاج إنتاج الشغلة X إلى تكلفة ثابتة LE 20,000 فى السنة، وتكلفة متغيرة LE 12 للوحدة. أما الشغلة Y

فيحتاج إنتاجها إلى تكلفة ثابتة LE 8,000 فى السنة، وتكلفة متغيرة LE 22 للوحدة. أوجد حجم الإنتاج عند نقطة التعادل بين التكلفة الإجمالية لكل من X و Y، أى عند ما يتساوى إجمالى التكلفة لكل من الشغلتين.

7-09 تنتج إحدى شركات البويات 9,000 علبة رشاش فى السنة، وتحصل على إيراد LE 675,000 نظير بيع هذه العلب. وتُقدَّر التكلفة الثابتة LE 120,000 فى السنة، والتكلفة الإجمالية LE 354,000 فى السنة. أوجد مدى مساهمة كل علبة رشاش للتكلفة الثابتة والربحية.

7-10 تعمل إحدى الشركات الإنتاجية فى صناعة منتج مميز. وتصل التكلفة الثابتة 3.2 مليون LE، والتكلفة المتغيرة LE 7/ وحدة. وتخطط الشركة لإضافة استثمار جديد قدره LE 800,000، مما سيزيد التكلفة الثابتة بمبلغ LE 150,000 فى السنة، وسيزيد مقدار المساهمة بمبلغ LE 2 للوحدة. ولا تتوقع الشركة أى تغيير فى حجم المبيعات أو فى سعر البيع الذى يبلغ LE 15 للوحدة. أوجد الكمية المتوقعة عند نقطة التعادل إذا أضيف الاستثمار الجديد.

نموذج نقطة التوازن:

7-11 تنتج إحدى الشركات جرارات مخصصة للاستعمال فى الحدائق. وقد وُجد أن هذه الشركة لديها سعة إنتاجية متوافرة، يمكن استخدامها فى إنتاج تروس لمجموعة النقل للجرار، تشتريها حاليًا من السوق المحلى بسعر LE 10 للترس الواحد. وإذا قررت الشركة تصنيع التروس بمصانعها، فستحتاج إلى خامات بمبلغ LE 3 للترس، وتكلفة عمالة LE 4 للترس، وتكلفة متغيرة أى مصروفات غير مباشرة LE 1 للترس. وتُقدَّر التكلفة الثابتة التابعة للسعة الإنتاجية غير المستعملة بمبلغ LE 8,000. وقد قدِّرت عدد التروس المطلوبة فى السنة القادمة 4,000 ترس. هل الأفضل للشركة أن تصنع التروس بمصانعها أو تستمر فى شرائها من الخارج؟

7-12 تريد إحدى شركات إنتاج معدات التليفون اتخاذ قرار بتصنيع مكثِّف كهربائى ومفتاح كهربائى محليًا أو شرائه من الخارج، مع العلم بأن السعة الإنتاجية متوافرة. والبيانات الخاصة موضحة فى الجدول التالى:

الحالات	المفتاح	المكثِّف	البيان
	18,000	30,000	الكميات المطلوبة فى السنة
التصنيع	LE 0.025 LE 220.000 LE 12.000	LE 0.085 LE 400.000 LE 12.000	تكلفة الخامات للوحدة تكلفة العمالة للوحدة تكلفة متغيرة للساعة
الشراء	LE 22.000	LE 48.000	سعر الشراء للوحدة

وتكلفة العمالة المباشرة LE 16 للساعة الواحدة، والجزء المتغير من المصروفات غير المباشرة LE 12 لكل ساعة عمل. أما المصروفات الغير مباشرة لسعة الإنتاج المتوافرة فهى LE 2,000 فى السنة. هل الأفضل للشركة أن تصنع هذه المنتجات داخليًا أم تحصل عليها عن طريق الشراء؟

نموذج منحنى التشغيل:

7-13 تنتج إحدى شركات التعبئة مناديل ورقية، وتقوم بتغليف حجم كبير منه لأحد محلات «السوبر ماركت» بعلامتها التجارية. ويحدث أحيانًا بعض العيوب فى أثناء التصنيع والتغليف. لذلك اتفقت شركة التعبئة مع «السوبر ماركت» على تبنى سياسة العينات التى تنص على التالى: المخاطرة لشركة التعبئة فى رفض كميات صالحة تحتوى على 0.5% عيوب، محدَّدة بمقدار 2% أى $\alpha = 0.005$ ، أما المخاطرة «للسوبر ماركت» فهى فى قبول كميات رديئة تحتوى على 4% عيوب، لا تزيد عن 5% أى $\beta = 0.04$.

1 - ارسم منحنى خواص التشغيل لخطة العينات بحيث يكون حجم العينة $n = 200$، وحدود المرفوض $c \geq 3$.

2 - هل خطة العينات هذه تناسب مخاطر المنتج، أى شركة التعبئة ؟

3 - هل خطة العينات هذه تناسب مخاطر الموزِّع، أى «السوبر ماركت»؟

7-14 حدِّد أحد البنوك الوطنية نظام حوافز لتشجيع الفروع على الوصول إلى مستوى جودة عال، وتوزيع جزء من ميزانية المرتبات على هذا الأساس. وأحد مقاييس الجودة هو الوقت اللازم لفتح حساب جار لأحد العملاء. فإذا كان هذا الوقت أكثر من 12 دقيقة، فإن الخدمة تُعَدّ رديئة، مع العلم بأن معدل الانحراف $\sigma = 4.2$ دقيقة. صمِّم خطة عينات المتغيرات لعينة حجمها $n = 36$ ملاحظة، بحيث تكون المخاطرة فى رفض شكوى الفرع إلى الإدارة العليا (عندما تصل إلى 12 دقيقة أو أقل فى المتوسط) تقدَّر فى حدود 1% (عندما يكون متوسط الزمن الحقيقى 12 دقيقة).

7-15 طُلب من مفتش الجودة فى إحدى المخابز الوطنية مباشرة شحنة دقيق، تزن كل شيكارة منها 50 كيلوجرام على الأقل، وأفادت شركة المطاحن الموردة للدقيق أن معدل الانحراف فى كل شيكارة 4 كيلو جرام. وترغب الإدارة بالمخابز فى تقليل المخاطرة فى رفض كميات صالحة إلى 2%. ومن الناحية الأخرى، ترغب الإدارة فى تحديد فرصة قبول الشحنة إلى 5%، إذا كان متوسط وزن الشيكارة الحقيقى 48 كيلو جراماً.

1 - مثِّل هذه الحالة بتوزيعة احتمالية للعينة، موضحا كلا من α وβ .

2 - حدِّد حجم العينة المطلوب .

3 - احسب القيمة الحرجة c لمتوسط العينة الذى يناسب الشروط المعطاة .

نموذج خرائط الجودة:

7-16 فى محاولة لإعداد خريطة جودة لإحدى العمليات، أخذت عينة ذات حجم $n = 25$، وتم تحديد $\overline{x} = 0.98$ سنتيمتراً، ومعدل الانحراف $\sigma_s = 0.02$ سنتيمتراً. أوجد حدود الجودة لهذه العملية؟

7-17 تتطلب سياسة الجودة فى إحدى الشركات تقدير حدود الجودة على أساس البيانات المستخلصة من عينة حجمها $\mathbf{n} = 100$ فى اليوم الواحد مسحوبة من دورة إنتاجية لقوالب بلاستيك عشر مدتها أيام، وقد وجد 200 وحدة معيوبة. يرى أن $\mu = p$ و $\sigma = \sqrt{npq}$.

1 - أوجد حدود الجودة للعملية UCL_p و LCL_p ممثلا فى نسبة المعيوب .

2 - أوجدحدود الجودة للعملية UCL وLCL ممثلاً فى عدد المعيوب، إذا استمر أخذ العينة بحجم $n = 100$؟

المراجع العلمية

آثرت أن أقدم مجموعة من أوراقى البحثية التى نشرت فى دوريات علمية ، وكلماتى الافتتاحية التى ألقيت فى مؤتمرات علمية ، والتى طرحت فيها فلسفتى فى استخدام هندسة وعلمية ونمذجة الإدارة . كما أضفت أحدث مجموعة من الكتب العلمية التى تتناول المنظومات الإنتاجية من جميع جوانبها .

01. Ashour S.,"An Allocation Algorithm for Space Problems ", presented the 18th International Conference on Computers and Industrial Engineering. Shanghai, China, October, 1995.

02. Ashour S., "Operations Research in Decision Making - Two Schools of Thought", presented as a Key Speech before the First International Conference on Operations Research and its Applications, Al-Asher Min Ramadan City Institute, Al-Asher Min Ramadan City, December, 1994.

03. Ashour S.,"Informatics and Industrial Development in Egypt", The Proceedings on Informatics and its Future in Egypt, Cairo, January 1994.

04. Ashour S.,"The Introduction of an Computer Engineering Science and Operations Research to Engineering Education Programs", Proceedings of the National Symposium on the Development of Teaching Computer Engineering Science and Operations Research in Egyptian Universities, Cairo, 1991.

05. Ashour S.,"Development of an Engineering Education System in Sudanese Universities",Vol.I:Mission Report,Vol. II:Project Documents, Vol. III : Equipment List. The Mission and Report were Sponsered by UNESCO, 1991.

06. Ashour S.,"Preperation of Industrial Engineers Needed for Industry ", Proceedings of the First International Conference on Engineering, Technological and Technical Education, Tripoli, Libya, 1991.

07. Ashour S.,"The Use of Reverse Engineering in Training B.Sc. Students in Mansoura University ", Proceedings of the First International Symposium on Managing and Nationalizing the Technology, Bahrain, 1990.

08. Ashour S.,"A new Enhanced Engineering Program in the Faculty of Engineering ", Proceedings of the World Conference on Engineering Education for Advancing Technology, Sydney, Australia, 1989.

09. Ashour S., "Blue-Print for MIS in Universities ", Proceedings of the 6^{th} National and 3^{rd} International Conference on Computers and Industrial Engineering, Florida, U.S.A, 1984.

10. Ashour S., "Toward an Integrated University Management Information System", Proceedings of the International Conference on Information Control and Development, Tunis, 1982.

11. Ashour S., "Planning and Development of Required Manpower for the Neurology and Artificial Kidney Center, Internal Report, Mansoura University, 1981.

12. Ashour S.,"Development of a Computerized Preventive Maintenance System in the Egyptian Iron & Steel Co., Helwan ", Internal Report, June 1977.

13. Ashour S., "Evaluation of the Computer Center in The Egyptian Iron & Steel Co., Helwan ", Internal Report, October 1976.

14. Ashour, S., "Ways and Means to perform a Successful Application of Management Sciences ", The Journal of Operations Research Society of Japan, Vol. 18, No. 1, 1975.

15. Ashour S.,"Management Sciences and their Applications to Intustrial Development in the Arab World ", The Journal of Systems Science, Vol. 5, No. 3, 1974.

16. Ashour S., "How to be an Effective Management Consultant, presented before the World Bank, Washington, D.C. June 1974.

17. Ashour S., "Operations Research : Past, Present, and Future ", presented at Universities in Ottawa (Canada), Tampera (Finland), Copenhagen (Denmark), Geneva (Switzerland), and Grenoble (France), Summer 1973.

18. Ashour, S. and M. Johnson, **Computer Simalation in Design Applications,** Simulation Councils Proceedings Series, vol. 3, No. 1, 1973.

19. Ashour, S. **Sequencing Thoery**, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer Verlag, Berlin, Germany, 1972.

20. Badiru, A.B. **Expert Systems Applications in Engineering and Manufacturing**, Prentic-Hall, New York, 1998.

21. Benjamin, S.B., **Logistic Engineering and Management,** Prentice-Hall, New York, 1998.

22. Buzacott, J. A.and .J. G. Shanthikumar ,**Stochastic Models of Manufacturing Systems,** Prentice-Hall, New York, 1992.

23. Chratal V., **Linear Programming**, McGill University, W.M. Freeman and Company, 1983.

24. Correll, J.G. and N.W. Edson, **Gaining Control: Capacity Management and Scheduling**,, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York,, 1998.

25. Davenport, T.H., **Process Innovation: Reenginering work Through Information Technology**, Harvard Business School, U.S.A, 1992.

26. Dunn R.A. and K.D.Ramsing, "Management Science - A Practical Approach to Decision Making ", 1981.

27. East, S., **Systems Integration: A Management Guide for Manufacturing Engineers**, McGraw Hill, New York, 1994.

28. Eilon S., "**Management Control**, 2nd Edition, Imperial College of Science and Technology, London, 1979.

29. Elsayed, A.E. and T.O. Boucher, **Analysis and Control of Production Systems,** Prentice-Hall, New York, 1998.

30. Fujimoto, T., **The Evolution of a Manufacturing Systems at Toyota**, Oxford University Press, London, 1999.

31. Gerald J.F, A.F. Gerald, and W.D. Stallings, **Fundamentals of Systems Analysis,** 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, 1981.

32. Gerwin, D. and H. Kolodny (Contributors), **Management of Advanced Manufacturing Technology: Stategy, Organization, and Innovation,** John Wiley & Sons, New York, 1992.

33. Hatchuel, A., et al., **Experts in Oranizations: A Knowledge-Based Perspective on Organizational Change**, Walter De Grayter, Paris, 1995.

34. Hillier, F.S. and G. J. Lieberman, **Introduction to Operations Research**, 6th Edition, Holden-Day Inc. California,1995.

35. Hitomi, K., **Manufacturing Systems Engineering: A Unified Approach to Manufactioning Technology, Production Management and Industrial Economics,** Taylor & Francis, London, 1996.

36. Ignizio, J.P. and P.M. Cavalier, **Linear programming,** Prentice-Hall, New York, 1994.

37. Jackson, K.F., **The Art of Solving Problems,** Heinemann, London, 1975.

38. Johnson M. and S. Ashour, **Simulation Systems for Manufacturing Industries**, Simulation Councils Proceedings Series, vol. 3, No. 2, 1973.

39. Jordon, C., **Batching and Scheduling: Models and Methods for Several problem Classes,** Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer Verlag, Berlin, 1996.

40. Larnder, H., "The Origin of Operational Research", Operations Research, Vol. 32, No. 2, 1984.

41. Leondes, C.T. (Editor), "Industrial and Manufacturing Systems" in **Neural Netwwok Systems Techniques and Applications, Vol. 4,** Academic Press, New York, 1997.

42. Miser, H. J.," The History, Nature, and Use of Operations Research. A paper in **Handbook of Operations Research,: Foundations and Fundamentals,** Vol. 1, Van Nostrand, New York, 1975.

43. Mital, A. and S. Anand (Editors), "Handbook of Expert Systems Applications in Manufacturing: Structures and Rules **in Intelligent Manufacturing, No. 4,** Chapman & Hall, New York, 1994.

44. Monks, J. G., **Operations Management**, Schaum's Outline Series, McGraw-Hill, New York,1985.

45. Morgan B.J.T., **Elements of Simulation**, Chapman & Hall, New York, 1986.

46. Parsael, H.R. et al., (Editors), **Manufacturing Decision Support Systems,** Chapman & Hall, New York, 1997.

47. Philipose S., **Operations Research - A Practical Approach**, McGraw Hill, New York, 1986.

48. Riggs, J.L., **Production Systems: Planning, Analysis, and Control,** 4th Edition, John Wiley & Sons, New york, 1987.

49. Saaty T. J.M Alexander, **Thinking with Models** , Pergamon Press, London, 1981.

50. Sherbrooke, C.C., **Optimal Inventory Modelling of Systems: Multi-Echelon Techniques: New Dimensions in Engineering,** John Wiley & Sons, New York, 1992.

51. Swift, K.G. and J. Booker (Contributors), **Process Selection: From Design to Manufacture,** John Wiley & Sons, New York, 1997.

52. Taha H., **Operations Research:An Introduction,** 6th Edition, Prentice Hall., New York, 1982.

53. Tersine, R., **Principles of Inventory and Material Managment,** 3rd Edition, North Holland Inc., New York, 1988.

54. Verduin, W.H., **Better Products Faster: A Practical Guide to Knowledge-Based Systems for Manufacturers,** Irwin Professional Publisher, New York, 1994.

55. Vollmann, T.E., et al., **Manufacturing Planning and Control Systems,** McGraw-Hill, New York, 1997.

56. Waters, C., **Inventory Control and Management**, John Wiley & Sons, New York, 1992.

57. Wetherbe J.C., **System Analysis and Design**, West Publishing Co., New York, 1984.

58. White, G.P.,"A Survey of Recent Management Science Applications in Higher Education Administration ", Interface 17 : 2, 1987.

59. Whitehouse G., **System Analysis and Design Using Network Techniques**, Prentice-Hall, Inc., New York,1973.

60. Williams, D.J., **Manufacturing Systems**, Chapman & Hall, New York, 1994.

61. ___________, **Global Production Management: International Conference on Advances in Production Management Systems,** September, 6 - 10, 1999. Berlin, Germany, Kluwer Academic Publisher, Berlin, 1999.

الملحق الإحصائى
جداول رياضية وإحصائية

الجدول الأول:	أعداد لوغاريتمية
الجدول الثانى:	قيم زمنية للأموال بفائدة 7%
الجدول الثالث:	قيم زمنية للأموال بفائدة 8%
الجدول الرابع:	قيم زمنية للأموال بفائدة 10%
الجدول الخامس:	قيم زمنية للأموال بفائدة 12%
الجدول السادس:	قيم زمنية للأموال بفائدة 15%
الجدول السابع:	قيم زمنية للأموال بفائدة 20%
الجدول الثامن:	نسب معاملات منحنى التعلم
الجدول التاسع:	مساحات واقعة تحت التوزيعة الطبيعية
الجدول العاشر:	أرقام عشوائية

(Four-Place Common Logarithms) أعداد لوغاريتمية :(A - 01) جدول رقم

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Proportional Parts 1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	4	8	12	17	21	25	29	33	37
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4	8	11	15	19	23	26	30	34
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3	7	10	14	17	21	24	28	31
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3	6	10	13	16	19	23	26	29
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	3	6	9	12	15	18	21	24	27
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3	6	8	11	14	17	20	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	5	8	11	13	16	18	21	24
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	2	5	7	10	12	15	17	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2	5	7	9	12	14	16	19	21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	2	4	7	9	11	13	16	18	20
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

تابع جدول رقم (A - 01): أعداد لوغاريتمية (Four-Place Common Logarithms)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Proportional Parts 1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	3	4
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

جدول رقم (A - 02): قيم زمنية للأموال الحاضرة والمتوالية والمستقبلة بفائدة 7%

(Present, Uniform Series, and Future Values at i = 7%)

	To find F, given P: $(1+i)^n$	To find P, given F: $\frac{1}{(1+i)^n}$	To find A, given F: $\frac{i}{(1+i)^n-1}$	To find A, given P: $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	To find F, given A: $\frac{(1+i)^n-1}{i}$	To find P, given A: $\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$	
n	(f/p,7,n)	(p/f,7,n)	(a/f,7,n)	(a/p,7,n)	(f/a,7,n)	(p/a,7,n)	n
1	1.070	0.9346	1.00000	1.07000	1.000	0.935	1
2	1.145	0.8734	0.48309	0.55309	2.070	1.808	2
3	1.225	0.8163	0.31105	0.38105	3.215	2.624	3
4	1.311	0.7629	0.22523	0.29523	4.440	3.387	4
5	1.403	0.7130	0.17389	0.24389	5.751	4.100	5
6	1.501	0.6663	0.13980	0.20980	7.153	4.767	6
7	1.606	0.6227	0.11555	0.18555	8.654	5.389	7
8	1.718	0.5820	0.09747	0.16747	10.260	5.971	8
9	1.838	0.5439	0.08349	0.15349	11.978	6.515	9
10	1.967	0.5083	0.07238	0.14238	13.816	7.024	10
11	2.105	0.4751	0.06336	0.13336	15.784	7.499	11
12	2.252	0.4440	0.05590	0.12590	17.888	7.943	12
13	2.410	0.4150	0.04965	0.11965	20.141	8.358	13
14	2.579	0.3878	0.04434	0.11434	22.550	8.745	14
15	2.759	0.3624	0.03979	0.10979	25.129	9.108	15
16	2.952	0.3387	0.03586	0.10586	27.888	9.447	16
17	3.159	0.3166	0.03243	0.10243	30.840	9.763	17
18	3.380	0.2959	0.02941	0.09941	33.999	10.059	18
19	3.617	0.2765	0.02675	0.09675	37.379	10.363	19
20	3.870	0.2584	0.02439	0.09439	40.995	10.594	20
21	4.141	0.2415	0.02229	0.09229	44.865	10.836	21
22	4.430	0.2257	0.02041	0.09041	49.006	11.061	22
23	4.741	0.2109	0.01871	0.08871	53.436	11.272	23
24	5.072	0.1971	0.01719	0.08719	58.177	11.469	24
25	5.427	0.1842	0.01581	0.08581	63.249	11.654	25
26	5.807	0.1722	0.01456	0.08456	68.676	11.826	26
27	6.214	0.1609	0.01343	0.08343	74.484	11.987	27
28	6.649	0.1504	0.01239	0.08239	80.698	12.137	28
29	7.114	0.1406	0.01145	0.08145	87.347	12.278	29
30	7.612	0.1314	0.01059	0.08059	94.461	12.409	30
31	8.145	0.1228	0.00980	0.07980	102.073	12.532	31
32	8.715	0.1147	0.00907	0.07907	110.218	12.647	32
33	9.325	0.1072	0.00841	0.07841	118.923	12.754	33
34	9.978	0.1002	0.00780	0.07780	128.259	12.854	34
35	10.677	0.0937	0.00723	0.07723	138.237	12.948	35
40	14.974	0.0668	0.00501	0.07501	199.635	13.332	40
45	21.002	0.0476	0.00350	0.07350	285.749	13.606	45
50	29.457	0.0339	0.00246	0.07246	406.529	13.801	50
55	41.315	0.0242	0.00174	0.07174	575.929	13.940	55
60	57.946	0.0173	0.00123	0.07123	813.520	14.039	60
65	81.273	0.0123	0.00087	0.07087	1146.755	14.110	65
70	113.989	0.0088	0.00062	0.07062	1614.134	14.160	70
75	159.876	0.0063	0.00044	0.07044	2269.657	14.196	75
80	224.234	0.0045	0.00031	0.07031	3189.063	14.222	80
85	314.500	0.0032	0.00022	0.07022	4478.576	14.240	85
90	441.103	0.0023	0.00016	0.07016	6287.185	14.253	90
95	618.670	0.0016	0.00011	0.07011	8823.854	14.263	95
100	867.716	0.0012	0.00008	0.07008	12381.662	14.269	100

جدول رقم (A - 03): قيم زمنية للأموال الحاضرة والمتوالية والمستقبلة بفائدة 8%

(Present, Uniform Series, and Future Values at i = 8%)

n	To find F, given P, $(1+i)^n$ (f/p,8,n)	To find P, given F $\frac{1}{(1+i)^n}$ (p/f,8,n)	To find A, given F: $\frac{i}{(1+i)^n-1}$ (a/f,8,n)	To find A, given P. $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$ (a/p,8,n)	To find F, given A: $\frac{(1+i)^n-1}{i}$ (f/a,8,n)	To find P, given A: $\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$ (p/a,8,n)	n
1	1 080	0 9259	1.00000	1 08000	1 000	0 926	1
2	1.166	0 8573	0 48077	0 56077	2 080	1 783	2
3	1.260	0.7938	0 30803	0 38803	3 246	2 577	3
4	1.360	0.7350	0 22192	0.30192	4 506	3 312	4
5	1.469	0.6806	0 17046	0 25046	5 867	3 933	5
6	1.587	0 6302	0 13632	0.21632	7 336	4.623	6
7	1.714	0 5835	0 11207	0 19207	8 923	5.206	7
8	1.851	0 5403	0 09401	0 17401	10.637	5 747	8
9	1 999	0.5002	0 08008	0 16008	12 488	6 247	9
10	2 159	0 4632	0 06903	0 14903	14 487	6 710	10
11	2.332	0 4289	0 06008	0 14008	16 645	7.139	11
12	2.518	0.3971	0 05270	0 13270	18.977	7.536	12
13	2.720	0 3677	0 04652	0.12652	21.495	7.904	13
14	2.937	0.3405	0 04130	0 12130	24 215	8.244	14
15	3.172	0 3152	0.03683	0 11683	27.152	8.559	15
16	3.426	0 2919	0 03298	0.11298	30.324	8.851	16
17	3.700	0.2703	0.02963	0.10963	33 750	9 122	17
18	3 996	0 2502	0 02670	0 10670	37.450	9 372	18
19	4 316	0.2317	0.02413	0.10413	41.446	9 604	19
20	4 661	0 2145	0 02185	0.10185	45.762	9.818	20
21	5 034	0.1987	0 01983	0 09983	50 423	10 017	21
22	5.437	0 1839	0.01803	0 09803	55 457	10 201	22
23	5.781	0.1703	0.01642	0.09642	60.893	10.371	23
24	6 341	0 1577	0 01498	0.09498	66.765	10 529	24
25	6.848	0 1460	0.01368	0 09368	73 106	10 675	25
26	7.396	0 1352	0 01251	0.09251	79 954	10 810	26
27	7.988	0.1252	0.01145	0.09145	87.351	10 935	27
28	8.627	0 1159	0 01049	0.09049	95.339	11.051	28
29	9.317	0.1073	0.00962	0 08962	103.966	11.158	29
30	10.063	0.0994	0.00883	0.08883	113 283	11 258	30
31	10.868	0.0920	0.00811	0.08811	123.346	11.350	31
32	11.737	0.0852	0.00745	0.08745	134.214	11.435	32
33	12.676	0.0789	0 00685	0 08685	145.951	11.514	33
34	13.690	0 0730	0.00630	0.08630	158 627	11.587	34
35	14.785	0.0676	0 00580	0.08580	173.317	11.655	35
40	21.725	0 0460	0 00386	0.08386	259.057	11 925	40
45	31.920	0.0313	0.00259	0.08259	386 506	12.108	45
50	46.902	0 0213	0 00174	0.08174	573 770	12 233	50
55	68.914	0.0145	0.00118	0.08118	848 923	12.319	55
60	101.257	0.0099	0.00080	0 08080	1253.213	12 377	60
65	148 780	0 0067	0.00054	0.08054	1847.248	12.416	65
70	218.606	0.0046	0 00037	0.08037	2720 080	12.443	70
75	321.205	0.0031	0.00025	0.08025	4002 557	12.461	75
80	471.955	0.0021	0 00017	0.08017	5886.935	12.474	80
85	693.456	0.0014	0.00012	0 08012	8655 706	12.482	85
90	1018.915	0.0010	0.00008	0.08008	12723.939	12 488	90
95	1497.121	0.0007	0.00005	0 08005	18701.507	12 492	95
100	2199.761	0.0005	0.00004	0.08004	27484 516	12.494	100

جدول رقم (A - 04): قيم زمنية للأموال الحاضرة والمتوالية والمستقبلة بفائدة 10%

(Present, Uniform Series, and Future Values at i = 10%)

	To find F, given P: $(1+i)^n$	To find P, given F: $\frac{1}{(1+i)^n}$	To find A, given F: $\frac{i}{(1+i)^n-1}$	To find A, given P: $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	To find F, given A: $\frac{(1+i)^n-1}{i}$	To find P, given A: $\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$	
n	(f/p,10,n)	(p/f,10,n)	(a/f,10,n)	(a/p,10,n)	(f/a,10,n)	(p/a,10,n)	n
1	1 100	0 9091	1 00000	1.10000	1 000	0.909	1
2	1 210	0.8264	0.47619	0.57619	2 100	1.736	2
3	1 331	0.7513	0.30211	0.40211	3 310	2.487	3
4	1 464	0 6830	0 21547	0.31547	4 641	3.170	4
5	1.611	0 6209	0 16380	0 26380	6 105	3 791	5
6	1 772	0 5645	0.12961	0.22961	7 716	4.355	6
7	1 949	0 5132	0 10541	0.20541	9 487	4.868	7
8	2 144	0 4665	0 08744	0.18744	11.436	5.335	8
9	2 358	0.4241	0 07364	0.17364	13 579	5 759	9
10	2 594	0 3855	0.06275	0.16275	15.937	6.144	10
11	2 853	0 3505	0.05396	0.15396	18 531	6 495	11
12	3.138	0 3186	0 04676	0.14676	21 384	6 814	12
13	3 452	0 2897	0.04078	0.14078	24 523	7 103	13
14	3.797	0.2633	0 03575	0.13575	27 975	7 367	14
15	4 177	0 2394	0.03147	0 13147	31.772	7 606	15
16	4.595	0.2176	0 02782	0.12782	35 950	7 824	16
17	5.054	0.1978	0.02466	0 12466	40.545	8.022	17
18	5 560	0 1799	0.02193	0.12193	45.599	8 201	18
19	6 116	0 1635	0 01955	0.11955	51.159	8 363	19
20	6.727	0.1486	0 01746	0.11746	57.275	8.514	20
21	7.400	0.1351	0 01562	0.11562	64.002	8.649	21
22	8.140	0 1228	0 01401	0.11401	71.403	8.772	22
23	8.954	0 1117	0.01257	0 11257	79.543	8.883	23
24	9.850	0 1015	0.01130	0.11130	88 497	8 985	24
25	10 835	0 0923	0.01017	0.11017	98 347	9.077	25
26	11.918	0 0839	0.00916	0.10916	109 182	9.161	26
27	13.110	0 0763	0 00826	0.10826	121 100	9.237	27
28	14.421	0.0693	0 00745	0.10745	134.210	9 307	28
29	15.863	0 0630	0.00673	0.10673	148.631	9.370	29
30	17 449	0 0573	0.00608	0.10608	164.494	9.427	30
31	19 194	0 0521	0.00550	0 10550	181.943	9.479	31
32	21.114	0 0474	0.00497	0.10497	201 138	9.526	32
33	23.225	0.0431	0.00450	0.10450	222.252	9 569	33
34	25 548	0 0391	0.00407	0 10407	245.477	9.609	34
35	28.102	0 0356	0.00369	0.10369	271.024	9 644	35
40	45.259	0 0221	0.00226	0.10226	442.593	9 779	40
45	72.890	0.0137	0.00139	0.10139	718.905	9.863	45
50	117.391	0.0085	0.00086	0 10086	1163 909	9 915	50
55	189.059	0.0053	0.00053	0.10053	1880.591	9.947	55
60	304.482	0.0033	0.00033	0.10033	3034.816	9.967	60
65	490.371	0.0020	0.00020	0.10020	4893 707	9 980	65
70	789.747	0 0013	0 00013	0.10013	7887.470	9 987	70
75	1271 895	0 0008	0 00008	0.10008	12708.954	9.992	75
80	2048 400	0 0005	0 00005	0 10005	20474.002	9.995	80
85	3298 969	0 0003	0 00003	0.10003	32979.690	9.997	85
90	5313.023	0 0002	0 00002	0.10002	53120.226	9 998	90
95	8556 676	0.0001	0.00001	0.10001	85556.760	9.999	95
100	13780 612	0.0001	0.00001	0.10001	137796.123	9 999	100

جدول رقم (A - 05): قيم زمنية للأموال الحاضرة والمتوالية والمستقبلة بفائدة 12%

(Present, Uniform Series, and Future Values at i = 12%)

n	To find F, given P: $(1+i)^n$	To find P, given F: $\frac{1}{(1+i)^n}$	To find A, given F: $\frac{i}{(1+i)^n-1}$	To find A, given P: $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	To find F, given A: $\frac{(1+i)^n-1}{i}$	To find P, given A: $\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$	n
n	(f/p,12,n)	(p/f,12,n)	(a/f,12,n)	(a/p,12,n)	(f/a,12,n)	(p/a,12,n)	n
1	1.120	0 8929	1.00000	1.12000	1.000	0.893	1
2	1.254	0.7972	0.47170	0.59170	2.120	1 690	2
3	1.405	0.7118	0.29635	0 41635	3 374	2 402	3
4	1.574	0 6355	0.20923	0 32923	4.779	3.037	4
5	1.762	0 5674	0.15741	0.27741	6.353	3 605	5
6	1.974	0 5066	0.12323	0.24323	8.115	4.111	6
7	2 211	0.4523	0.09912	0.21912	10.089	4.564	7
8	2.476	0.4039	0 08130	0.20130	12.300	4.968	8
9	2.773	0.3606	0.06768	0.18768	14.776	5 328	9
10	3.106	0 3220	0.05698	0 17698	17.549	5.650	10
11	3.479	0.2875	0.04842	0 16842	20.655	5.938	11
12	3.896	0.2567	0 04144	0 16144	24.133	6.194	12
13	4.363	0.2292	0 03568	0.15568	28.029	6.424	13
14	4 887	0.2046	0.03087	0.15087	32.393	6.628	14
15	5.474	0.1827	0 02682	0.14682	37.280	6.811	15
16	6 130	0.1631	0 02339	0 14339	42.753	6 974	16
17	6.866	0 1456	0 02046	0.14046	48.884	7.120	17
18	7.690	0.1300	0.01794	0.13794	55.750	7.250	18
19	8.613	0.1161	0.01576	0.13576	63.440	7.366	19
20	9 646	0.1037	0.01388	0.13388	72.052	7.469	20
21	10.804	0.0926	0.01224	0.13224	81.699	7.562	21
22	12.100	0.0826	0.01081	0.13081	92.503	7.645	22
23	13.552	0.0738	0.00956	0.12956	104.603	7.718	23
24	15.179	0 0659	0.00846	0 12846	118.155	7.784	24
25	17.000	0.0588	0.00750	0.12750	133.334	7.843	25
26	19.040	0.0525	0.00665	0.12665	150.334	7.896	26
27	21.325	0.0469	0.00590	0.12590	169.374	7.943	27
28	23.884	0 0419	0 00524	0.12524	190 699	7.984	28
29	26.750	0.0374	0.00466	0.12466	214.582	8.022	29
30	29.960	0 0334	0 00414	0.12414	241.333	8.055	30
31	33.555	0.0298	0.00369	0.12369	271 292	8.085	31
32	37.582	0.0266	0.00328	0.12328	304.847	8.112	32
33	42 091	0.0238	0 00292	0.12292	342.429	8.135	33
34	47.142	0.0212	0.00260	0.12260	384.520	8.157	34
35	52.800	0 0189	0.00232	0.12232	431.663	8.176	35
40	93 051	0 0107	0.00130	0.12130	767.091	8.244	40
45	163.988	0.0061	0 00074	0.12074	1358.230	8.283	45
50	289.002	0.0035	0.00042	0.12042	2400.018	8 305	50

جدول رقم (A - 06): قيم زمنية للأموال الحاضرة والمتوالية والمستقبلة بفائدة 15%

(Present, Uniform Series, and Future Values at i = 15%)

	To find F, given P. $(1+i)^n$	To find P, given F. $\frac{1}{(1+i)^n}$	To find A, given F. $\frac{i}{(1+i)^n-1}$	To find A, given P. $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	To find F, given A $\frac{(1+i)^n-1}{i}$	To find P, given A: $\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$	
n	(f/p,12,n)	(p/f,12,n)	(a/f,12,n)	(a/p,12,n)	(f/a,12,n)	(p/a,12,n)	n
1	1 120	0.8929	1.00000	1 12000	1.000	0 893	1
2	1.254	0 7972	0 47170	0.59170	2.120	1.690	2
3	1.405	0 7118	0 29635	0.41635	3.374	2.402	3
4	1.574	0 6355	0.20923	0 32923	4.779	3.037	4
5	1.762	0 5674	0.15741	0.27741	6.353	3.605	5
6	1.974	0 5066	0 12323	0.24323	8.115	4.111	6
7	2.211	0.4523	0 09912	0 21912	10 089	4.564	7
8	2.476	0.4039	0 08130	0 20130	12.300	4.968	8
9	2.773	0.3606	0 06768	0.18768	14 776	5.328	9
10	3.106	0.3220	0.05698	0.17698	17.549	5.650	10
11	3.479	0.2875	0 04842	0.16842	20.655	5.938	11
12	3.896	0.2567	0.04144	0.16144	24.133	6 194	12
13	4.363	0.2292	0.03568	0.15568	28.029	6.424	13
14	4 887	0.2046	0.03087	0.15087	32 393	6.628	14
15	5.474	0.1827	0.02682	0.14682	37.280	6.811	15
16	6.130	0.1631	0.02339	0 14339	42.753	6.974	16
17	6.866	0.1456	0 02046	0 14046	48.884	7.120	17
18	7.690	0.1300	0 01794	0.13794	55 750	7.250	18
19	8.613	0.1161	0.01576	0.13576	63 440	7.366	19
20	9.646	0.1037	0.01388	0.13388	72.052	7.469	20
21	10.804	0.0926	0 01224	0.13224	81.699	7.562	21
22	12.100	0.0826	0 01081	0.13081	92.503	7.645	22
23	13.552	0.0738	0.00956	0.12956	104.603	7 718	23
24	15.179	0.0659	0.00846	0 12846	118.155	7 784	24
25	17.000	0 0588	0.00750	0.12750	133.334	7.843	25
26	19.040	0.0525	0.00665	0.12665	150.334	7.896	26
27	21.325	0.0469	0.00590	0.12590	169.374	7.943	27
28	23.884	0.0419	0.00524	0 12524	190.699.	7.984	28
29	26.750	0.0374	0.00466	0.12466	214 582	8.022	29
30	29.960	0.0334	0 00414	0.12414	241.333	8.055	30
31	33.555	0.0298	0.00369	0.12369	271.292	8.085	31
32	37.582	0.0266	0.00328	0 12328	304.847	8.112	32
33	42.091	0.0238	0.00292	0.12292	342 429	8 135	33
34	47.142	0.0212	0.00260	0.12260	384.520	8.157	34
35	52.800	0.0189	0.00232	0.12232	431.663	8.176	35
40	93.051	0 0107	0.00130	0.12130	767.091	8.244	40
45	163.988	0.0061	0.00074	0.12074	1358 230	8.283	45
50	289.002	0.0035	0.00042	0.12042	2400.018	8.305	50

جدول رقم (A - 07): قيم زمنية للأموال الحاضرة والمتوالية والمستقبلة بفائدة 20%

(Present, Uniform Series, and Future Values at i = 20%)

	To find F, given P. $(1+i)^n$	To find P, given F: $\frac{1}{(1+i)^n}$	To find A, given F. $\frac{i}{(1+i)^n-1}$	To find A, given P· $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	To find F, given A. $\frac{(1+i)^n-1}{i}$	To find P, given A. $\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$	
n	(f/p,15,n)	(p/f,15,n)	(a/f,15,n)	(a/p,15,n)	(f/a,15,n)	(p/a,15,n)	n
1	1.150	0.8696	1.00000	1.15000	1.000	0.870	1
2	1 322	0.7561	0 46512	0.61512	2.150	1.626	2
3	1.521	0 6575	0 28798	0.43798	3.472	2.283	3
4	1 749	0 5718	0 20027	0.35027	4.993	2.855	4
5	2.011	0.4972	0 14832	0.29832	6.742	3.352	5
6	2.313	0.4323	0 11424	0.26424	8.754	3.784	6
7	2.660	0.3759	0.09036	0.24036	11.067	4.160	7
8	3.059	0 3269	0 07285	0.22285	13 727	4.487	8
9	3.518	0.2843	0 05957	0.20957	16.786	4.772	9
10	4.046	0.2472	0.04925	0.19925	20.304	5.019	10
11	4.652	0.2149	0.04107	0.19107	24.349	5.234	11
12	5 350	0.1869	0.03448	0.18448	29.002	5.421	12
13	6 153	0 1625	0.02911	0.17911	34.352	5.583	13
14	7.076	0.1413	0 02469	0.17469	40.505	5.724	14
15	8.137	0 1229	0 02102	0.17102	47.580	5.847	15
16	9.358	0.1069	0.01795	0.16795	55.717	5.954	16
17	10 761	0 0929	0 01537	0.16537	65.075	6.047	17
18	12.375	0 0808	0.01319	0.16319	75.836	6.128	18
19	14.232	0 0703	0.01134	0 16134	88.212	6.198	19
20	16.367	0.0611	0.00976	0.15976	102.444	6 259	20
21	18.821	0 0531	0.00842	0.15842	118.810	6.312	21
22	21.645	0 0462	0.00727	0 15727	137.631	6.359	22
23	24.891	0.0402	0.00628	0 15628	159.276	6 399	23
24	28 625	0.0349	0.00543	0.15543	184.168	6.434	24
25	32.919	0.0304	0.00470	0.15470	212.793	6 464	25
26	37.857	0.0264	0.00407	0.15407	245.711	6 491	26
27	43.535	0.0230	0 00353	0.15353	283 569	6.514	27
28	50.066	0 0200	0.00306	0.15306	327.104	6.534	28
29	57.575	0.0174	0.00265	0.15265	377.170	6.551	29
30	66.212	0.0151	0.00230	0.15230	434.745	6.566	30
31	76.143	0.0131	0 00200	0.15200	500.956	6.579	31
32	87 565	0 0114	0 00173	0.15173	577.099	6.591	32
33	100.700	0.0099	0.00150	0.15150	664.664	6.600	33
34	115.805	0.0086	0.00131	0 15131	765.364	6.609	34
35	133.176	0.0075	0.00113	0.15113	881.170	6 617	35
40	267.863	0.0037	0.00056	0.15056	1779 090	6.642	40
45	538.769	0.0019	0.00028	0.15028	3585.128	6.654	45
50	1083.657	0.0009	0.00014	0.15014	7217.716	6.661	50

جدول رقم (A - 08): نسب معاملات منحنى التعلم

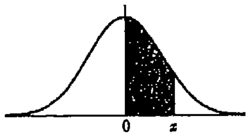
(Learning Curve Coefficients %)

% base	70%	74%	78%	80%	82%	84%	86%	88%	90%	94%	98%
2	7.486	5.469	4.065	3.523	3.065	2.675	2.343	2.058	1.812	1.418	1.121
5	4.672	3.674	2.927	2.623	2.358	2.125	1.919	1.738	1.577	1.307	1.091
10	3.270	2.718	2.283	2.098	1.933	1.785	1.651	1 529	1.419	1.228	1.069
20	2.290	2.012	1.781	1 674	1.585	1.499	1.420	1.346	1.277	1.155	1.048
30	1.858	1.687	1.540	1.473	1.412	1.354	1.300	1.249	1.201	1.113	1.036
40	1.602	1.489	1.389	1.343	1.300	1.259	1.221	1.184	1.149	1.085	1.027
50	1.429	1.351	1.282	1.250	1.220	1.190	1.163	1.136	1.111	1.064	1.020
60	1.300	1.248	1.201	1.178	1.158	1.137	1.118	1.099	1.081	1.047	1.015
70	1.201	1 167	1.137	1.121	1.108	1.094	1.081	1 088	1.056	1.032	1.010
80	1.122	1.101	1.083	1.074	1.066	1.058	1.050	1.042	1.034	1.020	1.007
90	1.056	1.047	1.039	1.034	1.031	1.027	1.023	1.020	1.016	1.010	1.003
100	1.000	1 000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
110	.9521	9593	.9665	.9696	.9731	.9764	.9796	.9827	.9855	.9916	.9973
120	.9105	.9239	.9369	.9428	.9492	.9551	.9610	.9670	.9726	.9839	.9947
125	.8915	.9076	.9231	.9307	.9381	.9454	.9526	.9552	.9667	.9803	.9935
130	.8737	.8921	.9104	.9200	.9279	.9359	.9447	.9528	.9609	.9769	.9923
140	.8410	.8640	.8864	.8974	.9084	.9188	.9294	.9399	.9501	.9704	.9903
150	.8117	.8381	.8645	.8776	.8905	.9029	.9156	.9280	.9402	.9645	9882
160	.7852	.8152	.8452	.8595	.8744	.8885	.9028	.9170	.9309	.9590	.9864
170	.7611	.7938	.8270	.8428	.8591	.8752	.8910	.9067	.9225	.9538	.9847
175	.7498	.7842	.8183	.8352	.8520	.8687	.8854	.9020	.9185	.9513	.9838
180	.7390	.7746	.8103	.8274	.8452	.8624	.8798	.8974	.9144	.9489	.9830
190	.7187	.7568	.7947	.8133	.8322	.8510	.8698	.9885	.9070	.9443	.9815
200	.7000	.7400	.7800	.8000	.8200	.8400	.8600	.8800	.9000	.9400	.9800
220	.6665	.7098	.7540	.7759	.7981	.8201	.8423	.8646	.8870	.9321	.9772
240	.6373	.6835	.7306	.7543	.7783	.8022	.8265	.8508	.8754	.9249	.9748
260	.6116	.6602	.7103	.7349	.7607	.7863	.8123	.8384	.8649	.9182	.9726
280	.5887	.6392	.6915	.7177	.7447	.7717	.7992	.8270	.8550	.9122	.9704
300	.5682	.6203	.6743	.7019	.7301	.7586	.7875	.8161	.8492	.9066	.9684
400	.4900	.5476	.6084	.6400	.6724	.7056	.7396	.7744	.8100	.8836	.9604
500	.4368	.4970	.5616	.5956	.6308	.6671	.7045	.7432	.7830	.8662	.9542
600	.3977	.4592	.5261	.5617	.5987	.6372	.6771	.7187	.7616	.8522	.9491
700	.3674	.4294	.4978	.5345	.5729	.6129	.6548	.6985	.7440	.8406	.9449
800	.3430	.4052	.4746	.5120	.5514	.5927	.6361	.6815	.7290	.8306	.9412
900	.3228	.3850	.4549	.4929	.5331	.5754	.6200	.6668	.7161	.8219	.9380
1000	.3058	.3678	.4381	.4765	.5172	.5604	.6059	.6540	.7047	.8142	.9351

Source: Vollman T.E., **Operations Management**, Addison-Wesley Publishing company, Reading, Mass., 1973.

جدول رقم (A - 09): مساحات واقعة تحت التوزيعة الاحتمالية الطبيعية

(Areas under Standard Normal Distribution)



القيم فى هذا الجدول تمثل جزءاً من المساحة التى تحت منحنى التوزيعة الاحتمالية الطبيعية بين النقطة μ = 0 وقيمة Z الموجبة، مع مراعاة أن المساحة لقيم Z السالبة يمكن الحصول عليها بالتماثل.

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0819	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0754
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2258	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
0.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2996	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990
3.1	.4900	.4991	.4991	.4991	.4992	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993
3.2	.4993	.4993	.4994	.4994	.4994	.4994	.4994	.4995	.4995	.4995
3.3	.4995	.4995	.4995	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4997
3.4	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4998
3.5	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998
3.6	.4998	.4998	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4990
3.7	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.8	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.9	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000

جدول رقم (10 - A): أرقام عشوائية (Random Numbers)

03 99 11 04 61	93 71 61 68 94	66 08 32 46 53	84 60 95 82 32	88 61 81 91 61
38 55 59 55 54	32 88 65 97 80	08 35 56 08 60	29 73 54 77 62	71 29 92 38 53
17 54 67 37 04	92 05 24 62 15	55 12 12 92 81	59 07 60 79 36	27 95 45 89 09
32 64 35 28 61	95 81 90 68 31	00 91 19 89 36	76 35 59 37 79	80 86 30 05 14
69 57 26 87 77	39 51 03 59 05	14 06 04 06 19	29 54 96 96 16	33 56 46 07 80
24 12 26 65 91	27 69 90 64 94	14 84 54 66 72	61 95 87 71 00	90 89 97 57 54
61 19 63 02 31	92 96 26 17 73	41 83 95 53 82	17 26 77 09 43	78 03 87 02 67
30 53 22 17 04	10 27 41 22 02	39 68 52 33 09	10 06 16 88 29	55 98 66 64 85
03 78 89 75 99	75 86 72 07 17	74 41 65 31 66	35 20 83 33 74	87 53 90 88 23
48 22 86 33 79	85 78 34 76 19	53 15 26 74 33	35 66 35 29 72	16 81 86 03 11
60 36 59 46 53	35 07 53 39 49	42 61 42 92 97	01 91 32 83 16	98 95 37 32 31
83 79 94 24 02	56 62 33 44 42	34 99 44 13 74	70 07 11 47 36	09 95 81 80 65
32 96 00 74 05	36 40 98 32 32	99 38 54 16 00	11 13 30 75 86	15 91 70 62 53
19 32 25 38 45	57 62 05 26 06	66 49 76 86 46	78 13 86 65 59	19 64 09 94 13
11 22 09 47 47	07 39 93 74 08	48 50 92 39 29	27 48 24 54 76	85 24 43 51 49
31 75 15 72 60	68 98 00 53.39	15 47 04 83 55	88 65 12 25 96	03 15 21 91 21
88 49 29 93 82	14 45 40 45 04	20 09 49 89 77	74 84 39 34 13	22 10 97 85 08
30 93 44 77 44	07 48 18 38 28	73 78 80 65 33	28 59 72 04 05	94 20 52 03 80
22 88 84 88 93	27 49 99 87 48	60 53 04 51 28	74 02 28 46 17	82 03 71 02 68
78 21 21 69 93	35 90 29 13 86	44 37 21 54 86	65 74 11 40 14	87 48 13 72 20
41 84 98 45 47	46 85 05 23 26	34 67 75 83 00	74 91 06 43 45	19 32 58 15 49
46 35 23 30 49	69 24 89 34 60	45 30 50 75 21	61 31 83 18 55	14 41 37 09 51
11 08 79 62 94	14 01 33 17 92	59 74 76 72 77	76 50 33 45 13	39 66 37 75 44
52 70 10 83 37	56 30 38 73 15	16 52 06 96 76	11 65 49 98 93	02 18 16 81 61
57 27 53 68 98	81 30 44 85 85	68 65 22 73 76	92 85 25 58 66	88 44 80 35 84
20 85 77 31 56	70 28 42 43 26	79 37 59 52 20	01 15 96 32 67	10 62 24 83 91
15 63 38 49 24	90 41 59 36 14	33 52 12 66 65	55 82 34 76 41	86 22 53 17 04
92 69 44 82 97	39 90 40 21 15	59 58 94 90 67	66 82 14 15 75	49 76 70 40 37
77 61 31 90 19	88 15 20 00 80	20 55 49 14 09	96 27 74 82 57	50 81 69 76 16
38 68 83 24 86	45 13 46 35 45	59 40 47 20 59	43 94 75 16 80	43 85 25 96 93
25 16 30 18 89	70 01 41 50 21	41 29 06 73 12	71 85 71 59 57	68 97 11 14 93
65 25 10 76 29	37 23 93 32 95	05 87 00 11 19	92 78 42 63 40	18 47 76 56 22
36 81 54 36 25	18 63 73 75 09	82 44 49 90 05	04 92 17 37 01	14 70 79 39 97
64 39 71 16 92	05 32 78 21 62	20 24 78 17 59	45 19 72 53 32	33 74 52 25 67
04 51 52 56 24	95 09 66 79 46	48 46 08 55 58	15 19 11 87 82	16 93 03 33 61
83 76 16 08 72	43 25 38 41 45	60 33 32 59 83	01 29 14 13 49	20 36 80 71 26
14 38 70 63 45	80 85 40 92 79	43 52 90 63 18	38 38 47 47 61	41 19 63 74 80
51 32 19 22 46	80 08 87 70 74	88 72 25 67 36	66 16 44 94 31	66 91 93 16 78
72 47 20 00 08	80 89 01 80 02	94 81 33 19 00	54 15 58 34 36	35 35 25 41 31
05 46 65 53 06	93 12 81 84 64	74 45 79 05 61	72 84 81 18 34	79 98 26 84 16
39 52 87 24 84	82 47 42 55 93	48 54 53 52 47	18 61 91 36 74	18 61 11 92 41
81 61 61 87 11	53 34 24 42 76	75 12 21 17 24	74 62 77 37 07	58 31 91 59 97
07 58 61 61 20	82 64 12 28 20	92 90 41 31 41	32 39 21 97 63	61 19 96 79 40
90 76 70 42 35	13 57 41 72 00	69 90 26 37 42	78 46 42 25 01	18 62 79 08 72
40 18 82 81 93	29 59 38 86 27	94 97 21 15 98	62 09 53 67 87	00 44 15 89 97
34 41 48 21 57	86 88 75 50 87	19 15 20 00 23	12 30 28 07 83	32 62 46 86 91
63 43 97 53 63	44 98 91 68 22	36 02 40 08 67	76 37 84 16 05	65 96 17 34 88
67 04 90 90 70	93 39 94 55 47	94 45 87 42 84	05 04 14 98 07	20 28 83 40 60
79 49 50 41 46	52 16 29 02 86	54 15 83 42 43	46 97 83 54 82	59 36 29 59 38
91 70 43 05 52	04 73 72 10 31	75 05 19 30 29	47 66 56 43 82	99 78 29 34 78

السيرة الذاتيــة

* ولد فى مـدينة المنصـورة عـاصـمـة الدقـهلية، حيث أتم دراسـته بمراحل الروضـة والابتدائى والثانوى، وحصل على شهادة الثانوية العامة عام 1951 .

* حصل على أعلى الدرجات العلمية من جامعات ألمانيا وأمريكا، حيث منح درجة البكالوريوس "Dipl. Ing." فى الهندسة الميكانيكية من جامعة ميونخ بألمانيا عام 1955، ودرجة الماجستير فى الهندسة الصناعية من جامعة مينيسوتا بأمريكا عام 1964، ودرجة الدكتوراه فى الهندسة الصناعية والإدارية من جامعة أيوا بأمريكا عام 1967 .

* قضى فى الخارج أكثر من 19 عـامًا للدراسة والعمل، منها 4 سنوات فى ألمانيا منذ عام 1951 للدراسة، عامان فى أوربا للعمل فى المجال الصناعى، 13 عامًا منذ عام 1962 فى أمريكا للدراسة والعمل فى المجال الأكاديمى والاستشارى.

* زار أكثر من 73 دولة فى أوربا والأمريكتين وإفريقيا والشرق الأقصى وبما فى ذلك أستراليا واليابان، لحضور مؤتمرات علمية، والعمل كأستاذ زائر، والقيام باستشارات فنية وإدارية، والإشراف على برامج تدريبية خاصة.

* أسس مكتب الإستشارات الهندسية والإدارية بالقاهرة، وأشرف عليه منذ عودته من أمريكا عام 1975 .

* يعـمل حـاليًا أسـتاذًا فى الهندسـة الصناعـية والإدارية وبحوث العـمليـات بكلية الهندسة بجامعة المنصورة منذ العام الدراسى 1977 / 1978 .

* تقلد عدَّة مناصب إدارية فى جامعة المنصورة، آخرهامنصب عـمادة كلية الهندسة 3 فترات بالانتخاب، أى ما يقرب من 9 سنوات منذ بدء العام الدراسى 1983 / 1984 وحتى نهاية العام الدراسى 1990 / 1991 .

* أعير أستاذًا زائرًا بقسم الهندسة بالجامعة الأمريكية فى القاهرة للعامين الدراسيين 1993 / 1994 و 1994 / 1995 .

* عين أستاذًا بقسم الهندسة الصناعية بجامعة ولاية كانساس بأمريكا منذ بدء العام الدراسى 1967 / 1968 وحتى نهاية العام الدراسى 1972 / 1973 .

* عُين نائبًا لرئيس مجلس إدارة مؤسسة الاستشارات الإدارية فى فيلادلفيا بأمريكا لمدة عامين بدءا من عام 1973 .

* اكتسب خبرة محلية ودولية لفترة تقرب من 10 سنوات فى المجال الصناعى، حيث عمل مع شركة ديماج الألمانية فى بناء مصانع شركة الحديد والصلب المصرية فى حلوان، ثم فى إدارة الورش وإدارة الصيانة والتفتيش بالشركة، وشركة راكويل الأمريكية فى مجال بحوث جدولة تصنيع أجزاء المنتجات، وشركة كونوكو الأمريكية فى مجال بحوث جدولة توزيع مشتقات البترول، وغيرها من الأنشطة الصناعية، والبحوث التطبيقية .

* اكتسب خبرة دولية ومحلية لفترة تزيد على 30 عامًا فى المجال الأكاديمى، حيث عمل فى جامعات أمريكية وأوربية ومصرية، أستاذًا عاملاً، وأستاذًا زائرًا فى الهندسة الصناعية والإدارية وبحوث العمليات. وتقلد مناصب إدارية فى عدَّة جامعات أمريكية والجامعة الأمريكية فى القاهرة، والجامعات الوطنية .

* اكتسب خبرة دولية ومحلية لفترة تزيد على 25 عامًا فى المجال الاستشارى، حيث عمل نائبًا لرئيس مجلس إدارة الهيئة الأمريكية لتنمية الموارد العربية، وصمم ونفذ مشروعات هندسية وتخطيطية وإدارية فى كل من أمريكا وإيطاليا وفنلندا والكويت وليبيا والسودان ومصر .

* ساهم بخبرته الدولية فى إعداد وتقويم نظم التعليم الهندسى فى أمريكا وألمانيا ومصر والسودان، حيث شارك فى إعداد البرامج التعليمية بكليات الهندسة فى جامعات ولايات كانساس وأيوا بأمريكا، وجامعة المنصورة. كما شارك فى تقويم برامج كليات الهندسة التعليمية للاعتماد أو الاعتراف فى جامعة كولن بألمانيا، والجامعة الأمريكية بالقاهرة، وجامعات مصر من قبل المجلس الأعلى للجامعات، وكُلِّف من قبل هيئة اليونسكو لتقويم برامج كليات الهندسة بجامعات السودان. وقدم أبحاثًا عديدة فى مجال التعليم الجامعى عامة، والتعليم الهندسى خاصة .

* نظم وشارك فى كثير من المؤتمرات العلمية الدولية والإقليمية والمحلية التى عقدت فى أمريكا واليابان وأوروبا وأستراليا وبعض الدول العربية، وقدم البحوث العلمية فى مجال الهندسة الصناعية، والإدارة العلمية، وبحوث العمليات.

* عمل رئيسًا للتحرير ومحرراً لعدد من الدوريات العلمية بالخارج، ومقيِّمًا لكثير من الأوراق البحثية المقدمة للنشر، ومشرفًا ومحكمًا على كثير من وسائل الماجستير والدكتوراه بالخارج والوطن، ومحاضراً زائراً فى أكثر من 37 جامعة أجنبية.

* اشترك فى عضوية الجمعيات العلمية الدولية والمحلية فى مجال بحوث العمليات والهندسة الصناعية، والحاسبات الآلية، والعلوم الإدارية.

* ألف كتبًا علمية وأوراقًا بحثية فى مجال العلوم الهندسية، حيث أصدر ثلاثة كتب علمية باللغة الإنجليزية، وكتابين علميين باللغة العربية فى دور النشر العالمية، بالإضافة إلى نشر 85 ورقة بحثية فى الدوريات العلمية الدولية، فى مجال الهندسة الصناعية وبحوث العمليات.

* نشر 9 كتب دينية وهى كتاب «**الإنسان فى القرآن الكريم**»، وكتاب «**شعيرة الطهارة**»، وكتاب «**شعيرة الصلاة**»، وكتاب «**شعيرة الزكاة**»، وكتاب «**شعيرة الصيام**»، وكتاب «**شعيرة الحج**»، من ضمن موسوعة «شعائر العبادة فى الإسلام»، وكتاب «**أدعية ومناسك الحج والعمرة والزيارة**».

* مُنح أثناء سنوات دراسته فى الخارج منحة دراسية من مؤسسة فولبرايت الأمريكية، ومنحة سفير الصداقة من مؤسسة ماكالستار الأمريكية، ومنحة علمية من مؤسسة كولز الأمريكية.

* كُرِّم من مؤسسات دولية ووطنية لإنجازاته ومساهماته العلمية المتميزة. فقد حصل على عضوية شرفية فى جمعية الممتازين فى الهندسة الصناعية، وجمعية الممتازين فى العلوم الأمريكية. واختير لحمل لقب المواطن المميز فى الموسوعة الأمريكية للعلماء. وحصل على جائزة رواد الحاسبات الآلية على المستوى القومى.

* منح جائزة الجامعة التقديرية فى العلوم الهندسية من جامعة المنصورة عام 1993، تقديراً لإنجازاته العلمية على المستوى القومى والدولى.

* سميت قاعة الندوات العلمية فى كلية الهندسة بجامعة المنصورة باسمه عام 1993، تقديراً لإنجازاته الكبيرة فى تطوير التعليم الهندسى، وتنفيذ الإنشاءات الهندسية، وتدعيم الأنشطة الطلابية فى جامعة المنصورة عامة، وكلية الهندسة خاصة.

* اختير أحد العلماء الرواد فى موسوعة "WHO'S WHO IN THE WORLD" أى «من هو فى العالم» فى الطبعة الرابعة عشر للعام 1997 التى تصدرها مؤسسة «ماركيز الأمريكية»، كما اختير من قبل فى كثير من الموسوعات الأمريكية والدولية.

* عيِّن عضواً فى اللجنة القومية للمعلوماتية، بأكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا منذ أنشئت.

* عيِّن عضواً فى المجالس القومية المتخصصة، تحت مظلة رئاسة الجمهورية.

* رشح لنيل جائزة الدولة التقديرية فى العلوم الهندسية لهذا العام، تقديراً لإنجازاته العلمية على المستوى القومى والدولى.

الإصدارات للمؤلف

كتب المؤلف العلمية:

.01 * **Sequencing Theory**, Springer -Verlag, Berlin 1972.

.02 * **Computer Simulation in Design Applications,** Simulation Councils Proceedings Series, Vol. 3, No.1, 1973

.03 * **Simulation Systems for Manufacturing Industries**, Simulation Councils Proceedings Series, Vol. 3, No. 2, 1973.

.04 «ثورة الإدارة العلمية والمعلوماتية»، دار الشروق للنشر والتوزيع والطباعة، القاهرة، 2000.

.05 «إدارة المنظومات الإنتاجية: تخطيط ـ تنظيم ـ تحليل ـ تحكم»، دار الشروق للنشر والتوزيع والطباعة، القاهرة، 2000.

كتب المؤلف الدينية:

.06 «الإنسان فى القرآن الكريم»، دار غريب للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة، 1998.

.07 «أدعية ومناسك الحج والعمرة والزيارة»، المركز الألمانى المصرى للطباعة، المنصورة، 1999.

.08 «شعيرة الطهارة»، ضمن موسوعة «شعائر العبادة فى الإسلام»، دار غريب للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة، 2000.

09. «شعيرة الصلاة»، ضمن موسوعة «شعائر العبادة فى الإسلام»، دار غريب للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة، 2000 .

10. «شعيرة الزكاة»، ضمن موسوعة «شعائر العبادة فى الإسلام»، دار غريب للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة، تحت الطبع .

11. «شعيرة الصيام»، ضمن موسوعة «شعائر العبادة فى الإسلام»، دار غريب للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة، تحت الطبع .

12. «شعيرة الحج»، ضمن موسوعة «شعائر العبادة فى الإسلام»، دار غريب للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة، تحت الطبع .

رقم الإيداع ٢٠٠٠/١٥٩٠٦

الترقيم الدولى 4 - 0665 - 09 - 977

مطابع الشروق

القاهرة : ٨ شارع سيبويه المصرى - ت: ٤٠٢٣٣٩٩ - فاكس: ٤٠٣٧٥٦٧ (٠٢)

بيروت : ص.ب. ٨٠٦٤ - هاتف : ٣١٥٨٥٩ - ٨١٧٢١٣ - فاكس : ٨١٧٧٦٥ (٠١)